

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

128656

**TARİHİ YAPILARIN ONARIMINDA  
KULLANILACAK HARÇ ÜRETİMİ**

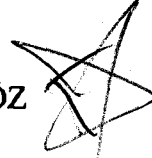
İnş. Müh. Süleyman Emre Pusat

**TC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı  
Yapı Programında

hazırlanan  
Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç.Dr.Fevziye AKÖZ



128656

İSTANBUL, 2002

Prof. Dr. Erol Gündal

Yard. Doç. Dr. Nebi YILMAZ

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vi
ÖNSÖZ.....	vii
ÖZET.....	1
ABSTRACT .....	2
1. GİRİŞ .....	3
2. HARÇ VE SIVA MALZEMELERİ .....	5
2.1 Bağlayıcılar.....	6
2.1.1 Alçı.....	7
2.1.2 Kireç.....	9
2.1.3 Çimento – Portland Çimentosu.....	11
2.1.4 Puzolanlar .....	14
2.2 Dolgu Maddeleri (Agregalar) .....	16
2.3 Katkı Maddeleri .....	17
2.4 Daha Önce Yapılmış Deneysel Çalışmalar .....	18
3. HORASAN HARCİ.....	21
3.1 Horasan Harcının Tarihi.....	21
3.2 Horasan Harcının Kimyasal Özellikleri .....	23
3.3 Horasan Harcının Sınıflandırılması .....	26
4. KORUMA ÇALIŞMALARINDA KULLANILACAK GELENEKSEL HARÇ ÜRETİMİ .....	27
4.1 Çağdaş Harçların Fiziksel Özelliklerinin Geleneksel Harçlarla Karşılaştırılması	27
4.2 Başarılı Horasan Harcı Üretim Şartları .....	30
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	33
5.1 Deneyde kullanılan malzemeler .....	33
5.1.1 Kireç.....	33
5.1.2 Standart RILEM Kumu .....	33
5.1.3 Curuf .....	34
5.1.4 Pişmiş toprak kırıntısı .....	35
5.1.5 Pişmiş toprak tozu.....	38
5.2 Üretim .....	39
5.3 Taze harçta yapılan deneyler .....	40
5.3.1 Yayılma deneyi.....	40
5.3.2 Birim ağırlık deneyi .....	41
5.4 Sertleşmiş harçlarda yapılan deneyler.....	43
5.4.1 Birim ağırlık .....	43

5.4.2	Ultras ses geçiş hızı deneyi.....	43
5.4.3	Dinamik Elastisite modülünün hesaplanması.....	46
5.4.4	Eğilme deneyi.....	49
5.4.5	Basınç deneyi.....	54
5.5	Deney sonuçlarının irdelenmesi .....	59
6.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	61
KAYNAKLAR		62
ÖZGEÇMİŞ		65



## SİMGE LİSTESİ

$\sigma$	Normal gerilme
$\beta$	Yoğunluk
$\gamma$	Özgöl ağırlık
$\alpha$	Isı katsayısı
$\tau$	Kayma gerilmesi





## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 5.1 RILEM kumu granülometri eğrisi.....	34
Şekil 5.2 Taze harçta ortalama birim ağırlıklar .....	42
Şekil 5.3 A grubu (kireç+RILEM) ve B grubu (kireç+Pişmiş toprak kırıntısı) numunelerinin ultrases geçiş hızları grafiği.....	44
Şekil 5.4 A grubu (kireç+RILEM) ve C (kireç+RILEM+cüruf) gruplarının ultrases geçiş hızları grafiği.....	45
Şekil 5.5 A grubu (kireç+RILEM) ve D (kireç+RILEM+pişmiş toprak tozu) gruplarının ultrases geçiş hızları grafiği.....	45
Şekil 5.6 C (kireç+RILEM+cüruf) grupları ve D (kireç+RILEM+pişmiş toprak tozu) gruplarının ultrases geçiş hızları grafiği.....	46
Şekil 5.7 A grubu (kireç+RILEM) ve B grubu (kireç+Pişmiş toprak kırıntısı) numunelerinin dinamik elastisite modülleri grafiği .....	47
Şekil 5.8 A grubu (kireç+RILEM) ve C grubu (kireç+RILEM+cüruf) numunelerinin dinamik elastisite modülleri grafiği.....	47
Şekil 5.9 A grubu (kireç+RILEM) ve D grubu (kireç+RILEM+pişmiş toprak tozu) numunelerinin dinamik elastisite modülleri grafiği.....	48
Şekil 5.10 C grubu (kireç+RILEM+cüruf) ve D grubu (kireç+RILEM+pişmiş toprak tozu) numunelerinin dinamik elastisite modülleri grafiği.....	48
Şekil 5.11 A grubu (kireç+RILEM) ve B grubu (kireç+Pişmiş toprak kırıntısı) numunelerin eğilme mukavemetleri grafiği.....	49
Şekil 5.12 A grubu (kireç+RILEM) ve C (kireç+RILEM+cüruf) gruplarının eğilme mukavemetleri grafiği .....	50
Şekil 5.13 A grubu (kireç+RILEM) ve D (kireç+RILEM+pişmiş toprak tozu) gruplarının eğilme mukavemetleri grafiği.....	50
Şekil 5.14 C (kireç+RILEM+cüruf) grupları ve D (kireç+RILEM+pişmiş toprak tozu) gruplarının eğilme mukavemetleri grafiği.....	51
Şekil 5.15 B grubunun 28. gündeki şahit numuneye göre eğilme mukavemeti .....	52
Şekil 5.16 C gruplarının 28. gündeki şahit numuneye göre eğilme mukavemeti.....	52
Şekil 5.17 D gruplarının 28. gündeki şahit numuneye göre eğilme mukavemeti.....	53
Şekil 5.18 C ve D gruplarının 28. gündeki şahit numuneye göre eğilme mukavemeti .....	53
Şekil 5.19 A grubu (kireç+RILEM) ve B grubu (kireç+Pişmiş toprak kırıntısı) numunelerin basınç mukavemetleri grafiği .....	54

Şekil 5.20 A grubu (kireç+RILEM) ve C (kireç+RILEM+cüruf) gruplarının basınç mukavemetleri grafiği .....	55
Şekil 5.21 A grubu (kireç+RILEM) ve D (kireç+RILEM+pişmiş toprak tozu) gruplarının basınç mukavemetleri grafiği .....	55
Şekil 5.22 C (kireç+RILEM+cüruf) grupları ve D (kireç+RILEM+pişmiş toprak tozu) gruplarının basınç mukavemetleri grafiği .....	56
Şekil 5.23 B grubunun 28. gündeki şahit numuneye göre basınç mukavemeti.....	57
Şekil 5.24 C gruplarının 28. gündeki şahit numuneye göre basınç mukavemeti .....	57
Şekil 5.25 C gruplarının 28. gündeki şahit numuneye göre basınç mukavemeti .....	58
Şekil 5.26 C ve D gruplarının 28. gündeki şahit numuneye göre basınç mukavemeti .....	58



## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1. Normal Portland çimentosundaki oksit dağılımı.....	12
Çizelge 2.2 Selanik'teki Bizans yapıları için üretilen harçların karışım oranları (Penelis,1995)18	
Çizelge 2.3 Hazırlanan numunelerin test sonuçları (Penelis,1995) .....	19
Çizelge 2.4 Selanik'teki 400 yıllık Osmanlı minaresinin harç mukavemetleri ve elastisite modülü (Penelis,1993) .....	19
Çizelge 2.5 Harç numunenin ağırlığa göre karışım oranları .....	20
Çizelge 2.6 40x40x160mm boyutlarındaki, numunelerin mukavemeti ve elastisite modülleri20	
Çizelge 5.1 RILEM kumu granülometri değerleri.....	34
Çizelge 5.2 Cürufun kimyasal analizi ve fiziksel özellikleri.....	35
Çizelge 5.3 Cürufun mekanik özellikleri .....	35
Çizelge 5.4 3 adet numunenin X-Işını kırınım sonucu (M.T.A. 1999).....	36
Çizelge 5.5 Tuğla hammaddesi içindeki mineral oranları (M.T.A. 1999).....	37
Çizelge 5.6 Cüruf ve pişmiş toprak tozunun inceliklerinin karşılaştırılması .....	39
Çizelge 5.7 Üretilen numunelerin kodlanması ve malzeme karışım oranları .....	40
Çizelge 5.8 Yayılma deneyine göre RILEM kumuyla üretilen numunelerin su oranının belirlenmesi .....	41
Çizelge 5.9 Yayılma deneyine göre pişmiş toprak kırıntısıyla üretilen numunelerin su oranının belirlenmesi .....	41
Çizelge 5.10 Taze harçta birim ağırlıklar ve gerçek malzeme miktarları .....	42
Çizelge 5.11 Sertleşmiş harçlarda birim ağırlıklar ( $gr/cm^3$ ).....	43
Çizelge 5.12 Numunelerin ultrases geçiş hızları ( $km/sn$ ).....	44
Çizelge 5.13 Numunelerin dinamik elastisite modülünün zamanla değişimi .....	46
Çizelge 5.14 Ortalama eğilme mukavemeti değerleri (MPa).....	49
Çizelge 5.15 Tüm numunelerin eğilme mukavemetlerinin şahit numunenin 28. gündeki eğilme mukavemetlerine oranları.....	51
Çizelge 5.16 Ortalama basınç mukavemeti değerleri (MPa).....	54
Çizelge 5.17 Tüm numunelerin basınç mukavemetlerinin şahit numunenin 28. gündeki basınç mukavemetlerine oranları .....	56

## ÖNSÖZ

Çocukluğumda Sivas'ta Selçuklular'dan kalan bir medreseyi gezerken en çok dikkatimi çeken şey, çimento harcıyla onarılmış bir kısımdı. O harikulade eserin içinde tarihi solurken, içinde yaşarken, tiyatrodaki kullanılan tekniklerden biri olan yabancılaştırma efekti gibi karşıma çıktı. Çocukça bakarsanız uyumsuz ve çirkindi. Kaderin tecellisi olarak yıllar sonra bu konuyla uğraşmaya başlayınca o medresede yapılan şeyin ne kadar yanlış olduğunun farkına daha iyi vardım. Bir kültür mirası yok ediliyordu mala sesleri arasında. Ülkemizdeki tarihi yapıların çokluğunu ve durumunu düşünelim, daha çok işimiz var. Korumak, ayakta kalmalarını sağlamak ve en orijinal haliyle bizden sonraki nesillere bırakmak da görevimiz. Bu yapılar artık sadece milletimizin değil, tüm dünyanın ilgisinin üzerinde olduğu insanlığın ortak kültür mirası.

Bu çalışma bana tarihi yapıların malzeme ve davranışı konusunda mühendis olarak çok katkıda bulundu. Artık daha esnek bakabiliyorum. Tarihi her yapının birbirinden farklı olduğunu ve ihtiyaç duyulan malzemenin adı harç olsa da her yapı için özel olduğunu, farklı malzemelerle üretildiğini biliyorum. Bir malzeme üretilirken iki kere ikinin dört olmadığını biliyorum. Bunu bir standarda sığdırmanın şimdilik mümkün olmadığını biliyorum. Ama yapılacak onarımların daha iyi olabilmesi için özgün malzemeye en yakın malzemeyi üretmek konusunda yardımcı olabilecek bir çalışma yaptığımı umuyorum.

Çalışmalarım sırasında bana yardımcı olan, Uz. Arkeolog ve Sanat Tarihçisi Rezan Çelebi'ye, beni çalışmamda destekleyen, bu konuya yönelmemi sağlayan Prof. Dr. Görün Arun'a ve bana lisans eğitimimden itibaren, her aşamada cesaret veren, yönlendiren, desteğini ve sabrını esirgemeyen Sevgili Hocam Doç.Dr. Fevziye Aköz'e teşekkür ederim.

## ÖZET

İnsanların çeşitli amaçlarla ürettiği mimari yapılar, zaman içinde çeşitli nedenlerle yıpranmaktadır. Bu binalar içinde yaşadığımız konutlarsa ve günümüz teknolojisine uygun olarak yapılmışsa onarımı daha kolay yapılmaktadır; fakat onarım gerektiren bina tarihi eser niteliğindeyse, mimari bir önemi varsa, onarımı özel tekniklerle yapılmalıdır.

Önce yapı ile ilgili bilgi toplanmalı, daha sonra yapıyı oluşturan tüm elemanların, en ince detayına kadar tanımlanmalıdır.

Eski eserde, onarım sırasında kullanılacak harç seçimi de, tıpkı duvar bezemelerinin onarımı gibi oldukça önemli bir çalışmadır. Bezemede yapılacak yanlış bir uygulamanın telafisi mümkün olabileceken, harç kullanımında yapılacak bir hata binanın yok olmasına sebep olabilir.

Onarımda kullanılacak harç seçimi yapılırken, onarılacak eserin harç analizi yapılmalı; orijinaline en yakın bileşim seçilmelidir. Analizler yapıldıktan sonra, onarılacak binanın harç bileşimlerine en yakın özellikte yeni üretimler yapılmalıdır. Belki de işin en önemli kısmı bu yeni üretimlerin günümüz teknolojiyle en doğru biçimde nasıl yapılabileceğidir. Şimdiye kadar çeşitli bilim adamları ve kuruluşlarca yapılmış harç analizlerinde aşağı yukarı belirli oranlar ortaya konmuştur. Bunun için doğal olarak, belirli bir formül yoktur. Her bina, ustasının ve dönemin şartlarının bir sentezidir.

Bu çalışmada, farklı oranlarda hazırlanan harç numuneleri üzerinde yapılan çeşitli deneylerle, hangi karışım oranlarının mukavemet fiziksel ve estetik olarak ihtiyaca cevap verebilecek nitelikte olacağı araştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Tarihi yapı, malzeme, harç, restorasyon

## **ABSTRACT**

Constructions, that, human beings create, erode in time due to numerous reasons. It is generally easier to restore those that have been made in accordance with present day technology. To restore those that carry historical significance, special techniques are required.

First of all, a sound and correct information about the buildings needed. Then, all the elements that form the particular construction has to be defined.

In restoration of a historical construction, the choice of mortar is as important as restoration of a wall ornament plays a very crucial part for its restoration. A misapplication on the wall ornament is replaceable, whereas, a small error on the choice of the mortar might cause everything to disintegrate.

To make a nearest combination of the mortar of the construction that is to be restored; it is necessary to make a very good analysis of the remnants of the mortar of the construction. After analysis have been made, new mortar productions carry the characteristics of the original mortar have to made. That important part of this procedure is to make the new mortar with todays technology. Apparently, some measurements of the ingredients of the mortar have been asserted by particular science men and organizations. There is no specific formula ever discovered for this though. Every construction presents a unique synthesis of its master architect and its particular time period.

This paper researches through tests on the samples produced to find out the best choice with regard to strength, physical properties and aesthetic.

**Keywords:** Ancient Structures, historical buildings, building material, mortar, restoration

## 1. GİRİŞ

Tarihi yapılar zaman içinde tabiatın ve insanların etkileriyle yıpranır. Bu yıpranma sadece yüzeysel olabileceği gibi, çoğu kez yapı strüktürünün zarar görmesi şeklinde de olabilir. Mevcut kültürümüzün önemli bir unsuru olan bu yapıların yaşamasını sağlamak bir zorunluluktur. Şimdiye kadar ayakta kalmayı başarmış, ama gün geçtikçe durumu kötüye giden tarihi yapılara müdahale etmek gerekmektedir.

Günümüzde özellikle ülkemizde yapılan restorasyon çalışmaları, yapıyı görsel olarak yenilemekten ileri gitmemektedir. Özellikle sivil yapıların restorasyonu, yıkıp günümüz teknolojisi çerçevesinde yeniden yapmak, olarak algılanmaktadır. Fakat onarılacak eser özellikle daha önceki medeniyetlere ait kamusal niteliği olan bir bina veya şehir dokusunun bir parçası ise, onarım problem olmaktadır. Problem, çoğunlukla onarım öncesinde yapıdan temin edilecek numune analizlerine göre, kullanılacak malzemelerin yeniden üretilmemesinden kaynaklanır. Çoğunlukla bu noktada, sorun mevcut imkanlarla çözülmektedir. Ardından, eski ve yeni malzeme arasındaki farklar sebebiyle tekrar ve hatta daha büyük problemler yaşanmaktadır.

Restorasyonda kullanılacak malzeme ve tekniklerde tamamıyla orijinale sadık kalınmalıdır. Aksi takdirde bu, restorasyondan farklı bir uygulama, yenileme veya onarımdır.

Restorasyonu yapılacak binanın, malzeme analizleri sonuçları sadece o binaya aittir, özellikle harç gibi kompozit malzemelerde bir genellemeye gitmek yanlıştır.

Yapılan bu çalışmada olduğu gibi, daha önceden de çeşitli oranlarda malzemelerle numuneler üretilmiştir. Bunların analiz sonuçları, yapıdan alınan numunenin analiz sonuçlarıyla bir karşılaştırma yapılabilir. Tam bir genelleme yapılamasa da, yapıdan alınan örneklerin analiz sonuçları, daha önce değişik formüllerle üretilen ve çeşitli testlerden geçirilen numunelerden biriyle benzeşecek, bu onarım için kullanılacak malzemenin yeniden üretiminde yani onarım için gerekli malzemenin bileşim oranlarında izlenecek yolu gösterecektir. Böylece acil müdahaleler için zaman kazanılabilecek, deneyler her seferinde tekrar edilmediği için belli bir ekonomik kazanç olacak ve orijinal malzeme analizlerini değerlendiren kişi konuya daha geniş bir çerçeveden bakabilecektir. Ayrıca yapının onarımı sonrasında genel olarak ileride yaşayabileceği problemlerin görülebilmesini sağlayacaktır.

İC FAKSER ÜRETİM KURULU  
DÜŞÜNCE VE İNHAZİYON MERKEZİ

Bu çalışmada çeşitlilik oldukça kısıtlı tutulmuş olsa da, ileride yapılacak diğer çalışmalarda harç bileşimindeki malzemeler analiz sonuçlarına göre değişik oranlarda çeşitlendirilebilir. Günümüzde kullanımı mümkün olmayan organik bağlayıcılar gibi malzemelerin yerine aynı veya çok yakın özellikleri gösterebilecek malzemeler önerilebilir.





## 2. HARÇ VE SIVA MALZEMELERİ

Bağlayıcı malzeme, kum, su ve gerektiğinde katkı malzemelerinin karıştırılmasından meydana gelen, katılma özelliğindeki hamurlara "harç" denir (Eriç,1994). Sıva harcı ise , duvar veya tavanlarda kagir ve hımsız yüzeyleri düzgünleştirmek ve dış etkilere karşı korumak için kullanılır(Eriç,1994).

Harç ve sıvaların doğal ve sentetik katkı maddeleri içeren veya içermeyen türleri bulunmaktadır. Ancak bu malzemeler çoğunlukla, üretimleri için kullanılan bağlayıcıların niteliğine göre isimlendirilirler (Hasol,1988) (örneğin, çimento harç ve sıvaları, kireç harç ve sıvaları, alçı harç ve sıvaları vb.).

Yapıda harç kullanımının temel amacı, yapı bileşenlerini meydana getiren elemanların birbirleri ile bağlantısını sağlayarak bir bütün oluşturmaktır. Böylece, bileşene gelen basınç yüklerinin dağılımını gerçekleştiren harç, bileşenin esnemesine de yardımcı olur. Taş veya tuğladan yapılmış olan, birçok eski eserin kalın duvarlarında kullanılmış olan harçlar, sınırlı basınç dayanımına sahip olsa da bunun bir harç için oldukça doyurucu olduğu bilinmektedir. Harç kullanımının diğer bir sebebi ise, yapı elemanlarını dış havanın bozucu etkilerinden korumaktır (Sabbioni,1997).

Tuğla veya taş gibi yapı malzemelerini birbirine bağlayan, kagir duvar ve tavanları sıvamada kullanılan harç, çok eskiden beri insanlar tarafından bilinmektedir (Karaveziroglou,1997). Harcın mükemmelleştirilmesi yolundaki eski çalışmalar o kadar iyi sonuç vermiştir ki, bugün eski binaların birçoğunun yıkılmasında zorluk çekilmektedir. Yıkım sırasında taşın kırıldığı ancak, harcın taş veya tuğladan ayrılmadığı bir çok defa gözlenmiştir. Ayrıca eski bina malzemesiyle harç o derece birbirine kaynamıştır ki, bu binaların duvarlarında büyük boşluklar açıldığı halde, duvarlar yıkılmamakta veya yıkılan eski duvarları büyük bloklar halinde bütünlüğünü kısmen muhafaza etmektedir.

Gün geçtikçe önemi daha iyi kavranmış olan restorasyon çalışmalarında, etkili bir şekilde rol oynayan harç ve sıvaları daha iyi anlayabilmek için, oluşumlarında kullanılan malzemeleri incelemekte fayda vardır (Mack,2000).

## 2.1 Bağlayıcılar

Bağlayıcılar, kırma taş, tuğla kırıkları, çakıl, kum gibi dolgu maddelerini birbirine bağlayarak, bir anlamda yapıştırarak, yapay taş oluşumuna imkan veren malzemelere verilen addır (Akman,1990).

Harcı, çimento, kireç, alçı gibi su ile karıştırıldığında plastik bir hamur oluşturan, bir süre katılaştıktan sonra, sertleşme özelliğine sahip olan ve bundan dolayı taş ve kumu bağlamada kullanılan maddeler olarak da tanımlayabiliriz (TS 2848,1977; Hasol,1988; Eriç,1994).

Bağlayıcı malzemeler, genel olarak toz halindedir. Ancak asfalt yapımında kullanılan hidrokarbonlu bağlayıcılar sıvıdır.

Su ile karıştırılan bağlayıcı maddeler, önce viskoz bir sıvı hamur haline dönüşür. Daha sonra katılaşır ve sertleşerek dayanım kazanırlar. Bağlayıcı maddelerin katı halden sıvı hale geçmesine priz denir. Bu hal değişimi salt bir fiziksel olay değildir, fiziko-kimyasal bir olaydır. Priz olayı su ile karıştırma başladığında meydana gelir, ancak belirgin değildir. Pratik yönden katılaşmanın belirli bir düzeye varması durumuna priz başlangıcı denir. Bağlayıcı maddeye su ilave edilerek hamur yapılmasından sonra, priz başlayıncaya kadar geçen süreye 'priz başlama süresi', priz sona erdiği an ile hamurun yapıldığı an arasında geçen süreye 'priz sona erme süresi' denir. Priz olayının tamamlanmasının ardından, sertleşme olayı başlar. Bağlayıcı maddeler sertleşme ile mekanik mukavemet kazanırlar ve bu zamanla artar.

Priz yapma olayına bağlı olarak, bağlayıcı maddeleri iki grup altında incelemek mümkündür. Priz olayını sadece havada yapabilen bağlayıcılara hava bağlayıcıları, hem havada, hem su içinde katılaşan bağlayıcılara ise hidrolik bağlayıcılar denir. Kireç bir hava bağlayıcısı olup, çimento ve alçı ise hidrolik bağlayıcılardandır.

Bu iki genel grup yanında, diğer bir grubu da puzolanlar oluşturmaktadır. Bunlar tek başlarına bağlayıcı olmayıp, kireç veya çimento gibi diğer bağlayıcılar gibi diğer bağlayıcılarla karıştırılınca bağlayıcılık özelliği kazanan maddelerdir (Postacıoğlu,1986).

## Bağlayıcı maddeler

### Alçı

### Kireç

1. Yağlı kireç
2. Su kireci

### Puzolanlar

3. Doğal puzolanlar
4. Yapay puzolanlar

### Çimento

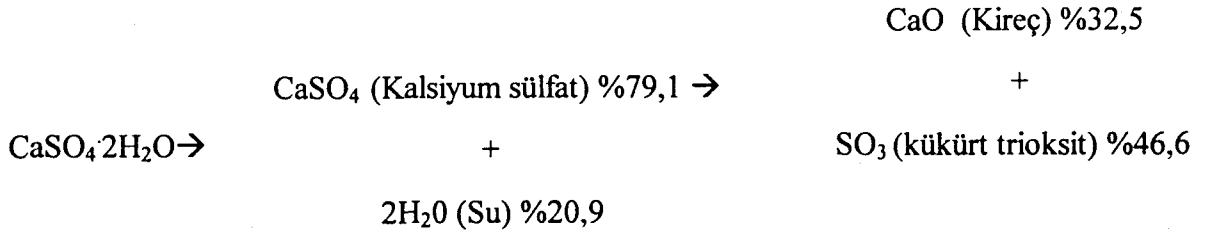
5. Portland çimentosu
6. Cürüflu çimento
7. Alüminli çimento
8. Doğal çimentolar

#### 2.1.1 Alçı

Alçı, M.Ö. 3000 yıllarında Ortadoğu ve Mısır'da, harç ve sıva yapımında yoğun olarak kullanılmıştır. Yunan Roma yapılarında duvar sıvası, renkli fresk ve stük olarak yer aldığı bilinmektedir (Eriç,1994). Alçının hammaddesini oluşturan alçıtaşı, Türkiye, Kanada, Fransa, İtalya, İngiltere, Çin, Rusya ve Güney Amerika gibi dünyanın çeşitli bölgelerinde kaya tabakaları şeklinde bulunur. Taş, ezilip öğütüldükten sonra, içerdiği suyun %75'ini kaybedene kadar ısıtılarak, harç ve sıva olarak kullanılan alçıya dönüşür.

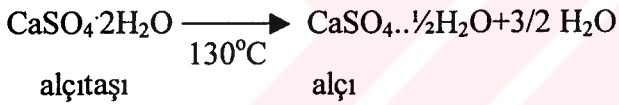
Doğada alçı, içerdiği su molekül yapısına göre doğal alçı olan jips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  veya anhidrit (susuz  $\text{CaSO}_4$ ) olarak adlandırılır. Doğal alçı olan jipsin saydam camsı yapıda, birbirine paralel düzgün lifsel dokuda olabileceği gibi, sıkı mikro kristal yapıda bulunması da mümkündür. Özgül ağırlığı ise  $2,3 \text{ gr/cm}^3$  tür. Anhidrit alçı ise sıkı kristal yapıda olup, özgül ağırlığı  $2,8-3,0 \text{ gr/cm}^3$  tür. Açık hava veya nemli ortamlarda bulunduğu zaman anhidrit, yapısına su alarak jipse dönüşürken, hacminde artış gösterir.

Alçı üretiminde kullanılan alçı taşı,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  formülü ile bilinen hidrate (sulu) kalsiyum sülfattır. Bu da, alçı taşının kireç, kükürt oksit ve su bileşimi olduğunu gösterir.



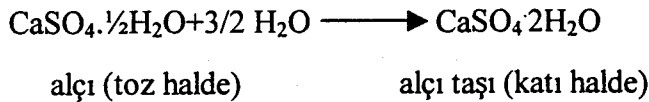
Alçıtaşı, saf halde de bulunsa da, genellikle kil, kireçtaşı, silis, demir vb. bileşimleri içerir. Saf halde beyaz renklidir. Eğer çeşitli bileşikler içeriyorsa gri, kahverengi veya kırmızimsı kahverengi olabilir.

Alçıtaşı tabakaları bazen yeryüzü yüzeyine yakın, bazen derinlerde olabilir. Tabakaların yerine göre, alçıtaşı ya taş ocaklarında işlenir veya madenden çıkarılarak kullanılır. Çıkarılan alçıtaşı, bir değirmen yardımı ile 50-75 mm boyutlarına indirgenene kadar küçültülür. Daha sonra, makinelerde tokmaklanıp, 13 mm çapında küçük parçalar oluşturulur. Elde edilen malzeme dönel çarklarda ısıtılır. Alçıtaşı burada içerdiği kristal suyunun 1,5 molekülünü (% 75'ini) kaybederek, alçı (β hemihidrat= alçı) olarak adlandırılan beyaz renkli toz halindeki malzemeye dönüşür. Başka bir yöntemde ise, 13 mm'lik boyutlarda olan malzemenin dönel çarklar yardımıyla toz haline getirilerek, kazanlarda ısıtılmasıyla alçı eldesi mümkündür.



Isıtılmanın yapılmış olduğu ortam, alçı adıyla bilinen hemihidrat kalsiyum sülfatın sertleşme süresi üzerinde etkili rol oynar. Hemihidrat alçı, alçıtaşının su buharlı ortamda, yüksek basınç altında ısıtılmasıyla elde edilmişse, harç olarak hazırlandığında su ile reaksiyonu yavaştır (α alçısı). Ancak kuru atmosferde, normal basınç altında ısıtılarak üretiliyse, su ile olan reaksiyonu hızlıdır (β alçısı).

Alçının katılaşması üretim reaksiyonunun tersi bir reaksiyondur.

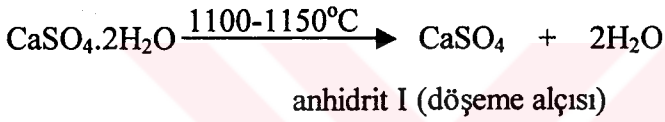
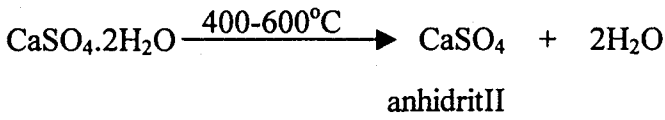


Katılaşmanın fiziksel nedeni kristalleşme, kimyasal nedeni ise hidratasyondur. Hidratasyon, molekül yapısına su almak demektir. Alçının hidratasyonu, içerisinde priz geciktirici malzemeler olmayınca yaklaşık 3-15 dakika gibi çok kısa bir süredir. Bu pratik açıdan sakıncalı olduğundan, içerisine zayıf asitler (limon asidi, sirke), 60°C'nin üstündeki sıcaklıkta boraks, şeker, jelatin, tutkal, kazein, talk gibi katkıları konarak, priz geciktirilir. Hidratasyon

ne kadar hızlı ise, kristaller o kadar küçük, mukavemet o kadar düşük olur.

Alçıdan elde edilen yapay alçı taşının içi boşlukludur. Porozitesi % 25-60 arasında değişen bu malzeme, suya dayanıklı olamayıp, bina dış yüzeylerinde kullanıma uygun değildir. Ayrıca, alçının kumun ana maddesi olan silis ile (SiO<sub>2</sub>) uyumu iyi olmadığından, harç yapımına elverişli sayılmaz. Ancak alçının saç veya bitkisel liflerle karıştırılması sonucu oluşturulmuş, dayanıklı saf alçı sıvalar üretilmiştir.

Eğer alçı taşı fırında 400-600°C sıcaklığa maruz bırakılırsa, kristal suyunu tamamen kaybeder. Elde edilmiş olan, kristal suyu içermeyen bu malzemeye “anhidrit II” adı verilir.



Döşeme alçısına (anhidrit I) tekrar su ilave edildiğinde, çok yavaş priz yapar. Ancak adi alçıya göre çok daha mukavemetli, sert şekilli dayanıklı bir bağlayıcı madde oluşturur. Neme karşı direncinin iyi olması sebebiyle de, nemli mekanlarda sağlam, temiz, düzgün yüzeyler elde etmek amacıyla kullanılır.

Günümüzde alçıdan, bina içerisinde betonarme yüzeylerin kaplanmasında normal veya dekoratif amaçlı sıvanmasında, bölme pano, kartonpiyer, tavan ve duvarlarda kullanılacak akustik elemanların üretiminde ve hazır yapı elemanları arası birleşim detaylarının çözümünü sağlamada yararlanır (Akman,1990).

### 2.1.2 Kireç

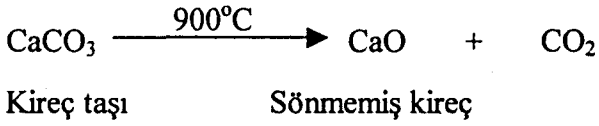
Kireç de, alçı gibi erken dönemlerden itibaren kullanılan bir bağlayıcıdır. Babil, Mısır, Finikeliler, Hitit ve Persler tarafından yapılarda bağlayıcı malzeme olarak kullanılmıştır (Eriç,1994; Akman1990; Vitruvius).

Kirecin hammaddesi kireçtaşı (kalker), tebeşir vb. kalsiyum karbonat (CaCO<sub>3</sub>) ve magnezyum karbonattan (MgCO<sub>3</sub>) oluşan kütlelerdir. Eğer kireçtaşı, %90 CaCO<sub>3</sub> içerirse “yüksek kalsiyumlu kireçtaşı” adını alırken, %10’dan çok MgCO<sub>3</sub> içermesi halinde “magnezyumlu

kireçtaşı" denir. Birinci gruptan elde edilen kireç beyaz renklidir, ikinciden elde edilen esmerdir ve dayanımı nispeten yüksektir. Ancak taş, %25'den fazla magnezyum karbonat (MgCO<sub>3</sub>) içerirse "dolamitik kireçtaşı" diye adlandırılır.

Kirecin üretiminde iki aşama vardır.

### 1) Kireçtaşının yakılması işlemi (kalsinasyon)

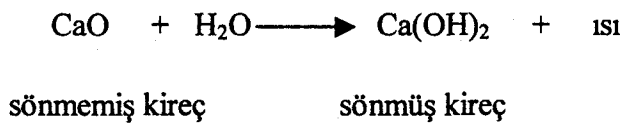


Kalsinasyon işlemi kireç ocaklarında odun veya kömür kullanılarak (çalı kireci), veya fabrikalarda sıvı yakıt kullanılarak gerçekleştirilir. Kireçtaşının 900°C üstünde yakılmasıyla elde edilmiş sönmemiş kireç (CaO), beyaz, amorf ve kolayca ufalanabilen bir malzeme olup yoğunluğu 3,08-3,30 gr/cm<sup>3</sup> arasındadır.

Kireçtaşının yakılması, farklı sıcaklıklarda mümkün olmakla beraber, 1000-1100°C civarında elde edilen çalı kireci kolayca söndürülürken, 1400°C civarında üretilen kömür kirecinin söndürülmesi son derece güç olup, uzun zaman alır.

### 2) Söndürme işlemi

Kaliteli ürün elde edebilmek için, kirecin dikkatle hazırlanarak söndürülmesi gerekir. Bu da, sönmemiş kirece ağırlığının 1/3'ü kadar su eklenmesiyle olur.



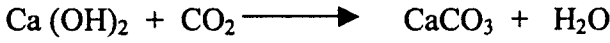
Söndürme esnasında kireç hacminde büyük bir artış olur. Kireç tamamen söndürülmeden yapıda kullanılırsa hacim artışına bağlı olarak, kullanıldığı yerde hasara yol açar. Bu yüzden kireç taşları en az iki hafta su içerisinde bekletilerek söndürülür.

Söndürmenin diğer bir özelliği ise, reaksiyon esnasında büyük ısı çıkışının olması ve sıcaklığın 300-400°C'ye ulaşmasıdır. Magnezyumlu kireçtaşından elde edilen kireç söndürülürken açığa çıkan ısı, kalsiyumlu kireç taşından açığa çıkan ısıdan azdır.

Söndürme işlemi teknelerde, kireç kuyularında veya fabrikalarda su püskürtülerek yapılır. Kireç söndürülürken, üzerine azar azar su döküp, soğuyup kabarmasının bekledikten sonra

yavaş yavaş su eklemeye devam edilir. İkel bir yöntem olan kireç kuyularında kireç fazla su ile söndürüldüğünden, ürün  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + n\text{H}_2\text{O}$  şeklindedir ve yağlı kireç olarak adlandırılır. Fabrikalarda ise sönmüş kireç sadece  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'dir, ince toz halindedir. Buna hidrate kireç de denir.

Elde edilmiş olan kireç, açık hava ile temas halinde bırakıldığı zaman sertleşmeye başlar. Bu, kirecin havanın karbondioksidini alarak tekrar kalker şeklinde kristalleşmesi ve kuruma sonucu suyunu kaybetmesiyle olur. Pürüzlü yüzeylerde su buharlaşması kolay olduğundan kuruma ve sertleşme düzgün yüzeylerden hızlı olur.



Sertleşme yüzeyden içeri doğru meydana geldiği için dışı kuru gibi gözükken duvarların iç kısımlar tam kuruyamadığından uzun süre rutubetli kalır. Dolayısıyla kireç harçları, iç kısımlarının plastikliğini uzun süre devam ettirmesi sebebiyle fazla kalınlıkta kullanılmamalıdır.

Havada sertleşmesi sebebiyle hava bağlayıcıları sınıfında olan kireç, suya direnci olmayışı ve düşük mukavemeti dolayısıyla tek başına kullanılmaz. Kum ve suyla karıştırılarak yapıda sıva ve duvar harcı yapımında, badana işlerinde kullanılır. Tarım ve ziraat işleri, hava kirliliği olan bölgelerde kirliliği azaltmak amacıyla yakıtlara karıştırılmak diğer kullanım alanlarındandır. Kireç harçlarının tuğla, taş, beton gibi yüzeylere kolay yapışarak işçilikten tasarruf sağlaması, sertleşme sonrası binada oluşacak deformasyonlara uyum sağlayacak şekil değiştirme yeteneğine sahip olması ise kullanım avantajlarını oluşturur (Postacıoğlu,1986; Akman,1990).

### 2.1.3 Çimento – Portland Çimentosu

İnsanların, su içerisinde de priz yapabilen, su etkisiyle çözülmeyen bağlayıcı üretme çabaları çok eski çağlara uzanmaktadır. Sorunu kesin çözümü çimentonun bulunmasıyla olmuştur. Latin dünyasında ilk kez Romalılar tarafından kullanılmış olan hidrolik bağlayıcı niteliğindeki çimento, Portland çimentosunun bulunması ile vadesini doldurmuştur.

Günümüzde kullandığımız çimentonun üretimine ilişkin bilinen ilk uygulamalar,1756 yılında J.Smeaton'un bir deniz feneri inşa ederken pişirerek elde ettiği su kireci hakkında "en iyi portland taşına denk" (İngiltere'ye bağlı portland adasındaki tabii bir taş) ifadesini kullanması ve 1796 yılında J.Parker'in bir killi kalker taşını pişirerek elde ettiği bağlayıcıdan çok iyi sonuç alması ve buna da Romalılar'ın kullandığı su kirecine izafeten Romen Çimentosu adını vermesi ile çimento üretiminde ilk adımlar atılmıştır (Eriç,1994).



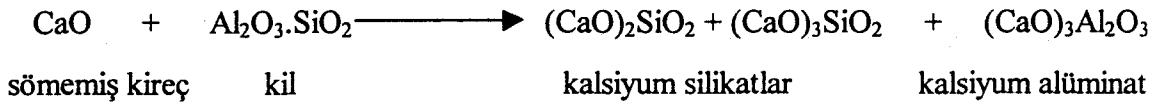
1824'te Joseph Aspdin'in bulmuş olduğu çimento, kalker ve kilin kalsinasyonu sonucu elde edilmiştir. Daha sonra 1838'lerde Isaac Johnson tarafından pişirme sıcaklığı yükseltilecek ve öğütmeye önem verilerek üretilen çimento, daha yavaş sertleşmekteydi ve daha üstün niteliklere sahipti. Modern çimento üretim yöntemlerine en yakın yöntemler ise 1850'lerin sonlarında uygulandı.

Çimento üretim metotları bugüne kadar geliştirilse de ana prensip hep aynı kaldı. Modern Portland çimentosu, kireç, silis, alüminyum, demir ile ikincil önemi olan oksitlerin belirli oranda karışımıyla oluşur. Bu oksitlerin dağılımı Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Normal Portland çimentosundaki oksit dağılımı

Oksit malzemeleri	Oranı (%)
Kireç CaO	60-66
Silis SiO <sub>2</sub>	19-25
Alüminyum Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3-8
Demir Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1-5
Magnezyum MgO	0,5
Sülfürtrioksit SO <sub>3</sub>	1-3

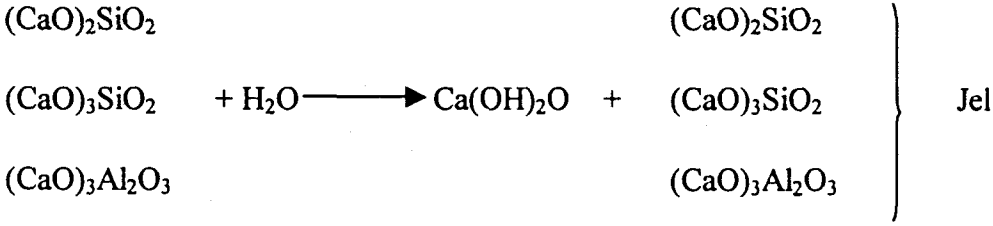
Oksit dağılım tablosundan da anlaşılacağı gibi, çimentonun ana maddeleri, kil (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.2SiO<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O) ve sönmemiş kireçten (CaO) ibarettir. Bugün çimento üretimi bu maddelerin karıştırılıp dönel fırınlarda 1400-1500°C gibi yüksek sıcaklıklarda pişirilmesi ve öğütülmesi suretiyle gerçekleşmektedir. Bu sıcaklıkta kalkerin tamamı eriyerek kil içerisindeki alüminat ve silikatlarla reaksiyona girmektedir.



Fırından gri renkte ve 15-30mm boyutlarında ufak taneler halinde çıkan klinker, suya karşı tepki göstermez. Bu tanelerin boyutları 90 mikronun altına indirilene kadar öğütülmesi sonucu bağlayıcılık özelliğine sahip çimento elde edilir. Taneler incelidikçe çimentonun mukavemeti artar.



Çimentonun hidratasyonu sonucu sönmüş kireç ve jel halindeki kalsiyum silikat ve alüminatlar oluşur.



Sertleşme öncesinde çimento harç ve sıvıları hidratasyon sonucu ortamda oluşan sönmüş kireçten dolayı bazik (PH=12-13) özelliktedir. Reaksiyonun ileri aşamalarında su, sertleşmiş jel kabuğundan içeri girerek çimento moleküllerinin birbirine ağ gibi bağlanarak katılaşmasına neden olur. Priz süresini kontrol altında tutmak için klinkere öğütülmeden önce ağırlığının %2,4'ü oranında alçıtaşı ilave edilir.

Portland çimentosu, farklı katkı maddeleri katılarak iyileştirilirken, farklı isimler altında uygulamaya sunulmuştur. Bunlardan "beyaz portland çimentosu" olarak adlandırılan çimento üretiminde, saf malzemeler ve kömür külünün çimento karışımına girmesine engel olmak için, fuel-oilli veya doğal gazla yakılan fırınlar kullanılır. Normal portland çimentosundan daha az demir oksit içerir, daha zayıf yapıda ve beyaza çok yakın soluk renklerde. Beyaz çimentodan suni taş yapımı, karo döşemesi gibi işlerde faydalanılmakla beraber, onarım çalışmalarında da harç ve sıva olarak değerlendirilmesine devam edilmektedir.

Portland çimentosuna çeşitli dolgu maddeleri ve plastikleştirici maddeler katılması sonucu "duvarcı çimentosu" adı verilen bir çimento elde edilir. Bu çimento normal portland çimentosundan daha plastik, daha çok su tutma özelliğine sahiptir. Daha çok normal çimento ve harçlarının, duvarın özgün harcının agrega dokusu ve rengiyle uymadığı onarım çalışmalarında kullanılır.

Bir diğer çimento çeşidi ise trikalsiyumalüminatlı ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ) çimentolar olup, sülfatlı suların etkisinin çok olduğu bölgeler ve endüstri yapılarında kullanılır. Kullanım biçimi ve görünüşü portland çimentosu gibidir. Kireçtaşı ve boksit karışımının eriyinceye kadar kızdırılması sonucu üretilen çimentolar içerdikleri alüminyum zenginliği sebebiyle "alüminli çimentolar" olarak adlandırılır. Bunlar normal portland çimentosundan daha farklı özellik taşıyor, renkleri koyu gri veya siyahtır.

Normal portland çimentosundan yavaş sertleşmesi, iyi çalışabilmesi, reaksiyon ısını çabuk vermekle beraber, düşük sıcaklıkta erken dayanıma ulaşması sebebiyle soğukta kullanımının diğer çimentolardan daha az riskli oluşu, sülfat aşındırmasına dayanıklı olup, bazik maddelere

karşı zayıflığı diğer özelliklerini oluşturur.

Portland çimentosuna katı yakıt, baca külleri karıştırılması sonucu elde edilen puzolanik çimentolar, portland çimentosunun hidrasyonundan meydana gelen sönmüş kirecin, küller ile reaksiyona girerek, yavaş sertleşen, düşük reaksiyon ısısı veren, sülfata dayanıklı çimentolardır (Akman,1990; Postacıoğlu,1986; Eriç,1994).

#### 2.1.4 Puzolanlar

Puzolanlar kimyasal olarak  $\text{SiO}_2$  ve az miktarda  $\text{Al}_2\text{O}_3$ den oluşan maddelerdir. Su ile karışırlarında çamur haline gelir, kurutulduktan sonra eski hallerine dönerler. Ancak bunlar kireçle karıştırılırsa bağlayıcılık kazanır, ve suda erimeyen bir kalsiyum silikat tuzuna dönüşürler.

Puzolanlar, kendi başlarına bağlayıcı olmadıkları halde, çimento veya kireç ile karıştırıldığında, bu bağlayıcıların içindeki serbest kireç ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) ile birleşmek suretiyle bağlayıcılık özelliği kazanırlar.

Puzolanlar, tabii ve suni olarak iki grupta isimlendirilir. Tabii puzolanlar şunlardır:

- 1) Volkanik puzolanlar: Volkanik toz ve küllerin meydana getirdiği tüfler olup, bazen sertleşmiş bir taş halinde bazen de irili ufaklı katılaşmamış parçalar halinde bulunurlar. İtalya'da Roma civarı ve Napoli yakınlarında bulunurlar. Roma puzolanları bünyesinde siyah mika, ojit bulundururken, Napoli puzolanları potasyum feldspat mikrokristalleri , az miktarda ojit, magnetit ve proksenden ibarettir. Napoli puzolanları mukavemet bakımından Roma puzolanlarından çok daha üstündür. Ege denizinde Yunanistan'a bağlı Santorin Adası puzolanları ise, sünger taşı, obsiden, feldspat kristallerinden oluşmaktadır. Boyut olarak sünger taşı ince kum ve toz halinde olan bu puzolanın ancak toz halindeyken aktif olduğu düşünülmektedir. Bunların teşekkül suyu ve hidrat suyu İtalyan puzolanları ile trasdan az olup, ilk günlerdeki mukavemeti de daha düşüktür.
- 2) Tras: Sünger taşının bulunduğu yataklardaki ocaklardan elde edilir. Ocaklarda çıkarılan malzeme, ince bir şekilde öğütülünce "tras" adını alır. Almanya'nın Ren bölgesinden çıkarılan bu puzolan bir tuf (trachytic) olup, uzun süre karbondioksitli suların etkisine maruz kalmıştır; dolayısıyla yapısındaki mineraller ya hidrate olmuş ya da bir ayrışmaya maruz kalmışlardır. Mikroskop altı incelemelerinden Ren trasının sünger taşı, ojit, biotit ve titanit kristalleri içerdiği saptanmıştır. Ancak dış etkilerle bozulması sonucu bugün, alkali alümina-silikat şeklinde bulunmaktadır.Son derece sert bir kaya olan tras,

öğütülmeden önce iyice kurutulmalıdır.

3) Gaize: Gri veya sarımsı-gri renklere olabilen yumuşak bir kayadır. Yapısının %80 'ini silis oluşturur. Bu silisin büyük bir kısmı suda çözünür. Tabii halde orta derecede aktif olan bu puzolan, su ile karıştırılınca çamur halini alır. Biraz ısıtılması sonucu rengi pembeleşirken aktivitesi artar ve en iyi puzolanlardan birine dönüşür. Harç yapısındaki serbest kireç ile reaksiyona giren gaize deniz suyuna karşı kimyasal mukavemetin sağlanması amacıyla kullanılır. Daha çok Fransa'da bulunmaktadır.

4) Toz haline getirilmiş bazı lavlar ve volkanik kökenli kumlar (arenler)

Suni puzolanlar ise şunlardır:

1) Pişmiş Kil: Kilin 600-800°C'de pişirilmesi sonucu kaolinit ( $2SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot 2H_2O$ ) kristal suyunu kaybederek silis ve alümine ayrışır. Sonuçta elde edilen ürün kireç ile reaksiyona girer. Saf killer 600-700°C'de, marnlı killer ise 800°C'de pişirilip , öğütülerek puzolan olarak kullanılabilir hale gelir. Pişirme açık havada yapılmalıdır. Sonuçta kil suda erimez bir hal alır. En iyi puzolan killeri pipo toprakları olarak bilinen refrakter killer olurken, marnlı killer orta kaliteye sahiptir. Tuğla topraklarından olan puzolanın kalitesi ise toprağın cinsine göre değişir.

2) Tuğlalar ve toz haline getirilmiş kiremitler: Bunlara genel olarak tuilo çimentosu denmekte olup, kaliteleri değişkendir. Memleketimizde eski eserlerin yapımında kullanılmış olan horasan adlı bağlayıcı, tuğla veya kiremit tozlarının kireçle karıştırılması sonucu üretilmiştir. Kireç harçlarından üstün olan bu harç , özellikle suya karşı son derece dirençlidir.

3) Yüksek fırın cürufu: Demir üretiminde kullanılan yüksek fırında demir cevherinden demirin alınması sonucu geriye kalan ve erimiş olarak bir çukura atılan madde cüruf adını alır. Su ile ani soğutulup , granüle edilir. Bünyesinde alüminyum, silis , kireç bulunduran bu madde, çok az kireç veya çimento ile karıştırılıp bağlayıcılık özelliği kazandığından puzolan olarak kabul edilir. Gerçekte, çimento yapısına benzer olan bu maddenin su ile reaksiyon yapabilmesi için çok az bir bağlayıcıya ihtiyaç duyması, çimento kadar mukavemetli oluşu, yapısında kireç bulundurmadığı için kimyasal açıdan dayanıklılığı onu diğer puzolanlardan ayırır. Bu üstün nitelikleri ve özellikle sülfatlara olan direncinden faydalanmak amacıyla çimentoya katılarak, özel çimento üretiminde kullanılırlar.

4) Uçucu kül: Termik santrallerde kömürün yanması sonucu geriye kalan toz halindeki kül

olup, çimento inceliğindedir ve puzolanik özelliğe sahiptir. Amerika ve Fransa'da birçok baraj inşaatında %15-30 oranlarında çimentoya katılarak, bağlayıcıdan büyük oranda tasarruf sağlanmıştır.

Özetle, puzolanlar kireç harçlarında kullanıldıklarında harç üzerinde iyi bir etki yaparak, onları suya dirençli hale getirmesi sebebiyle, senelerce kullanılmıştır. Ancak bu puzolanik etkinin açığa çıkması çok uzun zaman alır. Bu yüzden çimentonun bulunmasıyla yerlerini bu yeni malzemeye bırakmış olan puzolanlar, günümüzde çimentonun korozyona karşı mukavemetini yükseltmek, priz esnasında oluşacak ısı miktarını azaltmak , deformasyon yapma kabiliyetini arttırmak, betonun işlenebilme özelliğini arttırmak, su geçirimsizliği daha az olan harç ve beton üretmek için çimentoya katılarak kullanılır (Akman1990; Postacıoğlu,1986; Vitruvius,1990).

## 2.2 Dolgu Maddeleri (Agregalar)

Agregalar, harç ve sıva yapımında, bağlayıcı maddelerle birlikte kullanılan, mineral kökenli, farklı boyutlara sahip malzemelerdir. Doğal veya yapay yollarla elde edilmeleri mümkündür. Kum ve çakıllar tabii agregaları oluştururken, kırma taşlar, yüksek fırın cürüfları, kazan külleri , pişmiş killer ve bunların geliştirilmesiyle elde edilmiş maddeler suni agregaları oluşturur.

Malzeme, tabiattan çıkarıldığı gibi kullanılıyorsa, tuvönan agregası olarak, yıkandıktan sonra ise, sınıflandırıldığı agregası grubu altında isimlendirilir.

Eski eserlerde en yaygın olarak kullanılmış agregalar ise, başta kum olmak üzere, tuğla ve kiremit kırıkları, kırılmış taş, mermer, tras, istiridye kabukları, yüksek fırın cürüfları ve külleridir. Dolgu maddesinin boyutu, dayanıklılığı, içeriği harç ve sıvanın mukavemetini doğrudan etkiler. Bunu dikkate alarak, eski eser onarımlarında, çoğunlukla silis içeren yıkanmış olması sebebiyle kil ve silt gibi zararlı maddeleri barındırmayan dere kumları kullanılmalıdır. Deniz kumları homojen, temiz ve ince taneli olmalarına rağmen içerdiği tuz sebebiyle harç mukavemetini düşürür. Toprakta elde edilen kum ise içerisinde olabilecek kil ihtimali yüzünden, iyice yıkandıktan sonra kullanılır.

Agregası boyutları, harç ve sıvada kullanılacak bağlayıcı miktarı konusunda etkilidir. Küçük boyutlu agregaların iri boyutlular arasında kullanılmasının sağlandığı, karışım oranlarının iyi belirlendiği örneklerde, agregası yüzeyini saran bağlayıcı miktarı ve sertleşme ile olan hacim küçülmesi az olup, harcın mukavemeti yüksektir. Harcın dayanımını etkileyen diğer bir unsur

ise agreganın biçimidir. Yuvarlak veya köşeli şekle sahip agregalardan, sürtünme miktarını ve buna bağlı sağlamlığı artırması sebebiyle, köşeli olanlar tercih edilir (Satongar,1994).

### 2.3 Katkı Maddeleri

Harç ve sıvaya yeni özellikler kazandırmak üzere bağlayıcı ve dolgu maddeleri ile karıştırılarak kullanılan malzemelere katkı malzemeleri denir.

Günümüzde kullanılan katkı maddeleri, donmaya karşı olanlar (kalsiyum klorür), suya direnç gösterenler (kalsiyum stearat veya mineral yağlar), hava sürükleyicileri (kalsiyum lignosülfat), su emmeyi geciktirenler (naphto-sülfat, sodyum glukonat), renk vericiler (çeşitli pigmentler) şeklinde karşımıza çıkar. Harç yapımında kullanılan bu maddeler, hızlandırıcı, plastikleştirici, geciktirici özellikler taşırlar.

Katkı maddelerinin harç içerisindeki önemi insanlar tarafından kavranmış ve bunların geliştirilmesi sonucu bugünkü malzemelere ulaşılmıştır.

Roma ve bazı Akdeniz ülkelerinde kireçle kullanılan puzolanik katkı maddeleri kolay bulunamadığı ve ekonomik olmadığı gerekçesiyle, bir çok ülkede yerini başka maddelere bırakmıştır.

Arap zamkı, hayvan tutkalı, gergedan kanı, incir sütü ve yumurtanın bağlayıcılar ile kullanılan ilk organik katkıları olduğu belirtilmiştir (Bayram,1991). Albümin, keratin, kazeinin ise Mısır'da yaygın olarak kullanılan organik polimerik yapıştırıcılar olduğu bilinmektedir. Vitruvius zamanında ise, incir sütü, domuz yağı, çavdar hamuru, kesilmiş süt sertleşmeyi artırmak, yumurta akı ve kan ise sertleşmeyi geciktirmek amacıyla kullanılmışlardır.

İngiltere'de 8.-9. yüzyıllarda yaygın kullanımı görülen malt ve üründen hava sürükleyicisi olarak, sertleşme sonrası harç dayanımını arttırmak amacıyla faydalanılmıştır.

Erken dönemlerde kullanılan kireç harçları ve özellikle sıvalarının mukavemetini arttırmak için bitkisel lifler, hayvan kıl ve tüyleri kullanılmıştır. Örneğin, İstanbul'daki Jüstinyen Dönemi (VI.yüzyıl) kiliselerinde, duvar sıvası karışımına karaağaç kabuğu ve sıcak arpa suyu katılmış olduğu tespit edilmiştir (Satongar,1994).

## 2.4 Daha Önce Yapılmış Deneysel Çalışmalar

Daha önce harç üzerine yapılmış üretim ve deneyler incelenmiştir. Böylece, yukarıda adı geçen malzemelerin karışım oranları; harçların yaklaşık mukavemetleri ve elastisite modülleri hakkında bir fikir edinmek mümkün olmuştur.

Penelis'in, Selanik'teki Bizans yapıları için, Pella bölgesinin puzolanik tüflerinden ürettiği Skydra puzolanı ve Santorin toprağı ile yaptığı çalışmada, Çizelge 2.2'de verilen malzeme oranları kullanılmıştır. Bu malzeme oranlarıyla 28. gün sonunda yaptığı deney sonuçları da Çizelge 2.3'de verilmiştir (Penelis,1995).

Çizelge 2.2 Selanik'teki Bizans yapıları için üretilen harçların karışım oranları (Penelis,1995)

	Harç no.	Ağırlığa göre karışım oranları						Yoğunluk kg/dm <sup>3</sup>		
		Kireç	Puzolan	Kum		Tuğla kırıntısı			Su	
				max boyut		max boyut				
				2mm	6mm	2mm	6mm			
Puzolanın menşei	Santorin	K1	1	1	6		-	-	2,24	1,86
		K2	1	1	3		3	-	2,70	1,88
		K3	1	1	3		-	3	2,42	1,87
		K4	1	1		6	-	-	1,92	1,94
		K5	1	1		6	-	-	1,86	1,93
		K6	1	1	3		-	3	2,20	1,84
		K7	1	1		5	-	1	1,97	1,90
		K8	1	1		3	-	3	2,24	1,86
	Skydra	K18	1	1	6		-	-	2,17	1,94
K19		1	1		6	-	-	1,67	2,02	



Çizelge 2.3 Hazırlanan numunelerin test sonuçları (Penelis,1995)

Harç no.	Yoğunluk (kg/dm <sup>3</sup> )	Eğilme mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	Basınç mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	Dinamik elastisite modülü (N/mm <sup>2</sup> )
K1	1,59	0,166	0,410	1118
K2	1,47	0,234	0,859	1244
K3	1,51	0,261	1,318	1807
K4	1,68	0,421	0,697	1505
K5	1,59	0,258	0,928	2390
K6	1,54	0,214	0,770	1900
K7	1,63	0,194	0,784	1820
K8	1,51	0,269	1,249	2446
K18	1,60	0,193	0,336	1541
K19	1,74	0,142	0,652	1640

Penelis, Selanik'teki 400 yıllık bir Osmanlı minaresi üzerinde yaptığı tahribatlı ve tahribatsız deneyler sonucunda harç için aşağıdaki mukavemet ve elastisite modülü değerlerine ulaşmıştır.

Çizelge 2.4 Selanik'teki 400 yıllık Osmanlı minaresinin harç mukavemetleri ve elastisite modülü (Penelis,1993)

Eğilme mukavemeti	Basınç mukavemeti	Dinamik Elastisite Modülü
0,36 Mpa	1,28 MPa	1150 MPa

Karaveziroğlu ise restorasyonda kullanılan harçların davranışlarını incelediği çalışmasında puzolan ve çimento katkılı harçlar üretmiş ve bunların eğilme, basınç mukavemetlerini ve elastisite modülünü hesaplamıştır. Aşağıda çimento kullanılmamış numunenin karışım oranları (Çizelge 2.5), mukavemet ve elastisite modülü değerleri (Çizelge 2.6) verilmiştir. (Karaveziroğlu, 1995)

Çizelge 2.5 Harç numunenin ağırlığa göre karışım oranları (Karaveziroğlu, 1995)

Kireç	Puzolan	Tuğla kırıntısı	kum	Su
1	1	3	3	1,87

Çizelge 2.6 40x40x160mm boyutlarındaki, numunelerin mukavemeti ve elastisite modülleri (Karaveziroğlu, 1995)

Eğilme Mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )			Basınç Mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )			Elastisite modülü (N/mm <sup>2</sup> )		
7 gün	15 gün	28 gün	7 gün	15 gün	28 gün	7 gün	15 gün	28 gün
-	0,127	0,309	-	0,735	1,104	-	1140	1849

Aköz, İstanbul'daki Küçük Ayasofya Camiinin malzeme özelliklerini tahribatsız deneylerle incelediği çalışmasında, harcın birim ağırlığını  $1,59\text{gr/cm}^3$  olarak hesaplamıştır. Kış ve yaz mevsimlerine göre ayrı ayrı dinamik elastisite modülleri hesaplanmıştır. kış için  $8860\text{ N/mm}^2$ , yaz için  $7948\text{ N/mm}^2$  (Aköz,1996).

Bu çalışmalarda değerlerle laboratuvar ortamında üretilen numunelerden elde edilen deney sonuçları karşılaştırılmış, mertebe olarak yakın değerler elde edildiği gözlenmiştir.



### 3. HORASAN HARCİ

Anadolu'da Bizans, Selçuklu ve Osmanlı dönemi yapıtlarında oldukça sık rastlanan horasan, bağlayıcı malzeme ve yapay taş olarak başarı ile kullanılmıştır.

“Horasan” terimi, eski ustalarımız tarafından üretilmiş olan çok sağlam yapay bir taş olarak bilinir. Konu ile ilgili uzmanlar tarafından birbirine yakın ancak, farklı anlamlarda kullanılsa da, horasan harcının birleşimini veren reçeteler dikkate alındığında, horasanın harç yapımında kullanılan bir malzeme olduğu sonucuna varılabilir.

Horasan, kırılmış veya öğütülerek toz haline getirilmiş kiremit, tuğla, çömlek vb. pişmiş kildir. Horasanın, belli oranlarda kireç (hava kireci) ve su ile karıştırılmasıyla elde edilen harç ise, horasan harcı olarak tanımlanır. Bazı uygulamalarda harcın içerisine kum katılırken, bazılarında ise nohut büyüklüğünde parçalar halinde tuğla veya kiremit kırıkları gibi seramik malzemelere rastlanır. Bu ikinci grup harçlar, yontulmuş yapı taşlarını birleştiren, bağlayan klasik harçlardan farklıdır. Fonksiyonları bakımından günümüz betonuna eşdeğer olup, taşıyıcı yapı taşını meydana getirirler. Tarihi eserlerin incelenmesinde bunlara da horasan denilse de daha gerçekçi bir sınıflandırma yapıldığında “horasan betonu” adını almaları daha doğru olur (Akman1986).

#### 3.1 Horasan Harcının Tarihi

Horasan deyimi, İran'ın doğusundaki Horasan Bölgesi'nden gelmekte olup, Arap ülkelerinde “homra”, Yunanistan'da “korassani” adı ile bilinmektedir. Bugün Suudi Arabistan'da betona hala horasan denilmektedir.

İnşaat sektöründe bağlayıcı madde teknolojisi çok yavaş bir gelişim göstermiştir. Hava kireci, XVIII. yüzyıl sonlarına kadar en yaygın biçimde bilinen ve kullanılan bağlayıcı olma özelliğini korumuştur.

İnsanlar, hidrolik bağlayıcı ihtiyaçlarını, doğal puzolanları hava kireçleriyle karıştırarak üretilen doğal çimentolarla gidermiştir.

Vitruvius'un yazmış olduğu kitapta, Napoli Pompei civarındaki Puzzuoli kasabasındaki toprağın hidrolik özelliğini vurgulamaktadır. Romalı yazar, kum ve kireçten oluşan harca 1/3 oranında öğütülmüş, elenmiş pişmiş toprak veya tuğla katıldığı zaman, daha iyi bir harç elde edilebileceğini belirtmekte, ancak bunun hidrolik özelliğinden bahsetmemektedir. Buradan da anlaşılacağı gibi, hidrolik sertleşme olayı ilk önce, volkanik artıkların bol olduğu Roma'da ve

onun etkisindeki Akdeniz ülkelerinde değerlendirilmiştir. Burada trakit, sünger taşı, tras, tüf ve volkanik küller önceleri kirece karıştırılarak harç yapımında, daha sonra Roma betonu yapımında kullanılmıştır. Bu volkanik maddeler aktif silikatları içerip, camsı, amorf, düzensiz yapıdadırlar, kireç ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) ve su ile reaksiyona girince lif halinde kristal yapıda sertleşerek, suya dirençli, kararlı bir yapıya dönüşürler.

Doğu ile ilişkisi olan Roma'nın kültürel ve teknolojik uzantısı olan Avrupa'da kireç harcına tuğla tozu katılmasının bilinmesi doğaldır. Ancak Avrupa'da özellikle İngiltere ve Hollanda'da mühendisler tarafından, liman inşaatlarında 1/2 veya 1/1 oranlarında kireç ile karıştırılan tras vb. volkanik puzolanların kullanımı çok daha yaygındır. İtalya'daki puzolan varlığının bolluğu, bu yörelerde horasan tekniğinin ilerlemesine engel olmuştur. Üretilmiş olan horasan harçlarına ise özel bir isim verilmeyip, tuğla tozu, pişmiş kil tozu gibi deyimler kullanılmıştır. Yunanca'da da benimsenmiş olan "korassani" sözcüğü, uygulama kökeninin Batı Asya, Ortadoğu olmasının diğer bir kanıtı olarak gösterilebilir.

Horasan harcının Mısır'da Giza piramitlerinde ve Asur şehirlerinde kullanılmış olmasına ilişkin bazı bulgular vardır. Ortadoğu ve Anadolu uygarlıklarında tuğla yapılar ve çömlekçilik teknikleri çok yüksek düzeyde bulunurken bu bölgelerde horasan harcının icat edilip başarılı bir şekilde kullanılmış olması pek şaşırtıcı değildir.

İran'da pek çok eski eser yapımında kullanılmış olan horasan harcı, öğütülerek toz haline getirilmiş tuğla tozu, kireç, saman vb. lifsel yapıli malzemeler, yumurta akı, su ve kül karışımından oluşturulmuştur. Buradaki uygulamalarda, volkanik kül yerine odun külü kullanılmıştır. Daha çok temel yapımı liman vb. su ile temas halindeki yapıların inşasında yaygın olarak kullanılmıştır. Bazı temellerde, genel horasan harcı formülüne toprak katılarak üretilen bir harç kullanılmıştır. İran'da bugün hala odun külü, yumurta akı, kireç, tuğla tozu karışımına su katılmak suretiyle yapılan horasan harcı niteliğindeki bir çeşit harç, bazı tarihi eserlerin, seramik eşyaların onarımında kullanılmaktadır.

Bizans, Selçuklu ve Osmanlı eserlerinde (Usta,1997; Sönmez,1996) horasan harç ve betonu kullanımının oldukça yaygın olduğu bilinmektedir. Önceleri harç yapımında kullanılacak olan tuğla cinsi harç malzemelerinin karışım oranları, sertleşmenin tamamlanma süresine ilişkin babadan oğula geçen bilgiler, daha sonra şartnamelerle yasal hale getirilmiştir.

Osmanlı yapılarından özellikle XV. yüzyıla ait olanlar ve daha sonraki eserlerde, horasan harç ve betonu geniş ölçüde kullanılmıştır. Rumelihisarı (Boğazkesen Kalesi - 1452), Süleymaniye Camii temellerinde (1550-1577), Yeni Cami (1597-1664) ve Nur-u Osmaniye Camii radye

temellerinde (1748-1755), Belgrad Yolu köprülerinde (1500-1600), Sultan Ahmet Külliyesi'nde horasan betonu kullanıldığı tespit edilmiştir. İnşaat ustaları sınıflandırması yapılırken, “horasancı” denilen bir usta grubunun da bulunduğunu görülmektedir. Kayıtlarda “keyl” adıyla, büyük miktarlarda hazır olarak, satın alındığı da belirtilmiştir. İstanbul'da 18. yüzyılda horasan imalathanelerinin varlıkları ise, o dönemin mühendislik kitaplarından anlaşılmaktadır (Akıncı,1998; Kütükoğlu,1983; Bayram,1991).

Horasan harcının mukavemet ve durabilite açısından, kireç harçlarına göre teknik üstünlüğü, Osmanlı inşaatçıları arasında bilinmekteydi. Ayrıca, harcın renginden dolayı tuğla yapılarda mükemmel bir ahenk oluşturması, mimaride estetik açıdan da diğer harçlardan daha özel bir yer almasına sebep olmuştur.

Ülkemizde de tüm dünyada olduğu gibi hidrolik açıdan üstün özelliklere sahip harç ve beton yapımı ihtiyacı, puzolanik etkilerden yararlanmak suretiyle karşılanmaya çalışılmıştır. Horasan bunlardan biri olsa da yetersiz kaldığı durumlar da olmuştur. Bu durumlarda 18.-19. yüzyıllarda has harç adı verilen ve İtalyan kökenli “poçlana” (puzolan) ile üretilmiş olan kireç harçları kullanımına başlanmıştır. İstanbul Haliç Tersanesi'ndeki 2 ve 3 numaralı kuru havuzun (1796-1799) inşaat ve tamirlerinde bu harç kullanılmıştır. Daha sonra o dönemde Osmanlı İmparatorluğu sınırları içinde bulunan Yunan adalarından Santorin'de yüksek nitelikte puzolan varlığı saptanmıştır. Santorin puzolanı, ülkemizde özellikle liman inşaatlarında başarı ile kullanılmıştır. O zamanlar imparatorluk sınırlarına dahil olan Suriye'de ise hamam cüruf ve külleri, puzolanik etkileri nedeniyle suya dirençli olması istenen yapıların inşaatlarında kullanılmış olup, kozromil diye adlandırılmıştır.

Çeşitli dönemlerde çeşitli harçlar denenerek inşaatlar yapılsa da, horasan harcının gücünü bugün hala ayakta duran bir çok eski eserden anlamamız mümkündür (Akman,1986).

### **3.2 Horasan Harcının Kimyasal Özellikleri**

Horasan harcı, sağlam bir kütle, bir yapı oluşturmak amacıyla kullanılan bir bağlayıcı olup hidrolik harçlar grubu içinde yer alır.

Hidrolik harçlarda kullanılan malzeme, su ile kimyasal reaksiyona girerek katılaştır. Havaya ihtiyaçları yoktur. Bu tür harçların suya, özellikle deniz suyuna dirençleri oldukça yüksektir. Bu nedenle nem oranının yüksek olduğu deniz kıyısı şehirlerinde oldukça yaygın olarak kullanılmışlardır. İstanbul'da Dolmabahçe Sarayı'nın tabanının tümünde kullanılmış olan horasan harcının, bugünkü durumunu kontrol amacıyla yapılan bir incelemede, temel

sisteminde tek bir çatlağa bile rastlanmamış olması, harcın suya direncinin iyi bir ispatıdır.

Kirecin ve hidrolik harç oluşturmak üzere kullanılan kireç-horasan karışımının sertleşmeleri, tamamen farklı kimyasal reaksiyonlara bağlıdır.

Kireçtaşının yakılmasından sonra dayanıklı bir kireç elde etmek amacıyla kirecin söndürülmesi işleminin gerçekleştirildiği daha önce belirtilmişti. Kuruyan hidrate kireç  $\text{Ca(OH)}_2$  kristalleşerek, katılaşır. Ancak bu katılaşma geçici olup, su ile temas halinde kirecin tekrar yumuşadığı gözlemlenir. Sıva ve harç işlerinde kum ve su ile karıştırılan kirecin tam olarak katılaşması havadan karbondioksidi alarak, kalsiyumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) oluşturmasıyla mümkündür. Buradan kirecin kalker şeklinde kristalleşerek sertleşebilmesi için havaya, daha doğru bir tanımla  $\text{CO}_2$  içeren kuru bir ortama ihtiyacı vardır. Reaksiyon sonucu oluşan suyun buharlaşması işlemi ile de sertleşme tamamlanır. Bünyedeki suyun atılması ve harç yapısına havanın karbondioksidinin alınması dış yüzeyden içeriye doğru olup, son derece yavaş bir şekilde gerçekleşir.

Horasanın kireç ile karıştırılması sonucu elde edilen horasan harcının sertleşmesi ise bir asit-baz reaksiyonu sonucu suda erimeyen bir tuz oluşturulması prensibine dayanır. Horasanı oluşturan pişmiş kil, kimyasal aktivite kazanmış silis içermekte olup, nitelik yönünden zayıf bir asittir. Kireç ise kuvvetli bir bazdır. Bu iki elemanın reaksiyonundan kalsiyum silikat tuzu oluşmaktadır. Bu kimyasal reaksiyon da oldukça yavaş gelişmektedir. Bu tür harçların sertleşmesinde hava gereksinmesi olmayıp, aksine ortamın ıslak olması reaksiyonun daha iyi bir biçimde gelişmesi için zorunludur. Buradan horasan harcı yapımında kireç ile karıştırılarak kullanılan ince taneli aktif silis içeren tuğla, kiremit tozları, pişmiş kil vb. malzemelerin puzolanik özellik gösterdiği anlaşılmaktadır. Katılaşmış yağlı kireç, su karşısında dayanıksız ve düşük mukavemetlidir. Buna karşın kireç-horasan karışımından yapılan harcın daha yüksek mukavemetli oluşu kimyasal açıdan karbonik asit içeren sularda bile erimeyecek kadar güçlü olması sudan negatif yönden etkilenmediği gibi su içinde daha kararlı bir hale gelmesi puzolanların harca vermiş olduğu üstünlüklerdir.

Horasan harcının yapımında deniz ve dere kumları kullanıldığında farklı dozajlarda malzeme kullanılması tavsiye edilir. Deniz kumları monogranüler olup, daha boşluklu yapıdadır. Bunlarla yapılan harçlarda kireç oranı yüksektir. Sürekli granülometrilik ve nisbeten az boşluklu dere kumlarında ise bağlayıcı oranı düşük tutulmaktadır.

Dünya savaşlarının ardından olan enerji darboğazı sonucu varolan dış etkilere dayanıklı bağlayıcılardan daha dirençli bağlayıcılar üretimi ihtiyacı doğmuştur. Dolayısıyla, teknolojik

gelişmelere bağlı puzolan kullanımı, tekrar gündeme gelmiştir. Kireç harçları ile eskiden beri kullanılan puzolanların portland çimentosunun icadından sonra bir çimentoya katılmasıyla yeni bir uygulamaya geçilmiştir. Portland çimentosunun hidrasyonu neticesinde kalsiyumsilikat ve alüminatlar dışında sönmüş kireç, yani  $Ca(OH)_2$  oluşmaktadır. Çimento bünyesindeki kirecin mevcudiyeti bağlayıcının mekanik mukavemetini azalttığı gibi kimyasal mukavemetin de yüksek değerler almasına engel olur. Çimento içindeki kireç su ile karşılaştığında çözülerek; malzeme yapısında boşluklar oluşturur. Bu da, bağlayıcı üzerinde negatif bir etki oluşturduğundan istenmeyen bir olaydır. Bu sakıncanın giderilmesi için kirecin, silis bakımından zengin puzolanlarla birleştirilerek, suda erimeyen silikatlar oluşturması sağlanmıştır. Silis oranı yüksek volkanik topraklar, termik santral baca külleri, yüksek fırın cürüfları ve son yıllarda gündemde olan silis dumanı (silica fume) bu amaçla kullanılan diğer puzolanlardır. Klasik çağda daha az reaktif olan, yapay puzolanik malzemeler (demir cürufu, kırılmış tuğla, çömlek vb.) kullanılmıştır.

Kısaca harcın özünü tuğla kırığı (horasan) ve kireç oluşturmaktadır. Bu da kil ve kireç kombinasyonudur. Bu harç puzolanik özellik taşıdığı için, kirece hidrolik özellik verir. Kirecin hammaddesini oluşturan kalker %25 kül içerirse pişirme sonucu açığa çıkan kireç bir miktar silis ile birleşerek, çimentonun esası olan kalsiyum silikat oluşumuna yol açar. Söndürme sırasında toz haline geçen kısım ise su kireci diye adlandırılıp geçen yüzyılda horasan harcını oluşturan malzemedir (Akman,1986).

### 3.3 Horasan Harcının Sınıflandırılması

Horasan harcı ile ilgili yapılan araştırmalarda aynı amaçlı, fakat değişik adlarda tanınan farklı karışımlar saptanmıştır, bunlar;

#### 1) Geleneksel horasan harcı:

- Dinlendirilmiş kireç + yumurta akı + horasan pirinci + su
- 1 Sönmüş kireç + 1 yıkanmış kavrulmuş kum + ½ alçı + su
- 2 kireç + 1 horasan + bir miktar dişli kum + bir miktar meşe külü + su

#### 2) Kum horasan harcı:

- Dövmüş kireç + yumurta akı + kum + horasan pirinci + su olup karma süresi uzundur. Daha çok su yollarında kullanılmıştır.

#### 3) Lökün :

- Dövme kireç + 3 ayda suda çürütülmüş pamuk + su
- Dövme kireç + zeytin yağı + keten elyafı + su
- Dövme kireç + kızgın zeytinyağı + koyun yünü elyafı + su

#### 4) Horasan sıvası:

- Alçı + kireç + yumurta akı + tuz (su yollarında kullanılmıştır.)
- 2 horasan + ½ perdah kumu + ½ beyaz çimento + ½ kireç şerbeti

(öneri) olarak sınıflandırılmıştır (Satongar,1994).



#### 4. KORUMA ÇALIŞMALARINDA KULLANILACAK GELENEKSEL HARÇ ÜRETİMİ

Restorasyon çalışmalarında kullanılacak ideal harcın seçimini yapabilmek için, her şeyden önce geleneksel harcın özellikleri çok iyi bilinip, çağdaş harçlarla kıyaslanmalıdır. Daha sonra çağdaş ve geleneksel harçların avantajlı yönlerini bünyesinde taşıyan yeni bir üretime geçilebilir.

##### 4.1 Çağdaş Harçların Fiziksel Özelliklerinin Geleneksel Harçlarla Karşılaştırılması

Portland çimentosunun yaygın kullanımından sonra geleneksel kireç harçları giderek bırakılmıştır. Eski tuğla ve taş yapılarda çimento kullanılarak yapılan onarımlar, eski ve yeni harç arasındaki fiziksel uyumsuzluktan dolayı, tipik başarısız restorasyon projelerini oluştururlar. Kirecin yerini çimento bağlayıcıların almasıyla daha çabuk priz yapan, daha yüksek mukavemetli, ancak hızlı su emen, geç kuruyan harçlar elde edilmiştir. Bu gelişmelerden faydalanılarak yapılan uygulamalarda, daha kısa sürede daha dayanıklı onarımlar yapıldığı düşünülse de, restorasyon çalışmalarında kullanılan çimentonun, uzun vadede yarardan çok zarar getireceği anlaşılmıştır. Eski eser onarım çalışmalarında çimento kullanımını engelleyen sebepler şöyle özetlenebilir.

- a) Eski ile yeni harçlar arasındaki renk ve doku farkı oluşturur (estetik kaygılar).
- b) Portland çimentosu yüksek basınç dayanımına sahip güçlü bir malzemedir. Yapıda diferansiyel hareketlenmeler olduğu takdirde, çimento harç üzerine gelen gerilmeyi eski yapı malzemesine ileterek onun yıpranmasına sebep olur.
- c) Portland çimentosu harç ve betonları büyük termal genişleme katsayısına sahiptir. Bu katsayı eski eserdeki kireç harcı, birçok tuğla ve taşın iki katı kadardır. Sıcaklık farklılıkları dolayısıyla genişleyen yeni harç, eski malzeme üzerinde basınç oluşturarak, eski eserin zarar görmesine neden olur.
- d) Çimentonun fırınlanması sırasında oluşan sodyum ve potasyum oksitler, kendi başlarına veya toprak kaynaklı kimyasal tuzlarla reaksiyona girerek, suda çözünür karbonatları oluşturur ve böylece duvar bölgesine fazladan tuz sokmaktadırlar. Ayrıca klorür, sodyum, potasyum sülfat ve nitrat oluşumuna sebep olur. Alınan tuzlar, malzeme bünyesine giren suyun kuruyarak buharlaşması ile yüzeyde çiçeklenme veya kavlama şeklinde görülen yüzey erozyonuna sebep olarak, taş bozulmalarını hızlandırır.

e) Portland çimentosu harçlarının porozitesi oldukça düşüktür. Çok küçük boyutlu boşluklar (0,1- 1 $\mu$  /10 $\mu$ ) içerip, bunların toplam boşluk içindeki oranı fazladır. Bunun ilk bakışta faydalı olduğu düşünülse de aslında zararlıdır. Suyun buharlaşmasına izin vermeyen bu boşluklar, malzemenin nefes almasını da engellemiş olurlar. Bu olaya bağlı olarak da, harç yapısında iç yoğuşmalar meydana gelir. Yüksek su emme gücüne sahip çimentoda, don etkisi de şiddetli olur. Bunun sebebi, kılcal ağda suyun donarak şişmesi ve kılcal ağ yapısının difüzyon yoluyla büyük boşlukları beslemeye imkan vermemesidir. Çimento harçları, kuruma esnasında da rötreye yaparak çatlayabilmekte ve yüzeyden su girmesine sebep olabilmektedir.

Eski eser restorasyonunun çimento kullanılarak yapılmasının zararları son yıllarda öğrenilerek, çimento kullanımı dizginlenmiştir.

En eski dönemlerde bile, Avrupa yapıları inşasında kireç-kum harçları kullanıldığı için, taş ve tuğla duvarların onarımında, geleneksel kireç harcı kullanımı eğilimi hep vardır. Ancak bu uygulama da bazı güçlükleri beraberinde getirir.

- a) Kireç harcı hazırlanması ve kullanılması sırasında, duvar ustasının yeteneği oldukça önemlidir. Su ekleme işlemi ile malzemenin işlenebilirliği artırırken, mekanik direnc düşebilir. İyi bir denge bulmak kolay olmayıp, tecrübe gerektirir.
- b) Kireç harçları yavaş priz yapar. Priz esnasında kuru ortamlara ihtiyaç duyulur. Oysa eski eserde duvar, genelde nemlidir. Bu durumda kireç belki çok zayıf sertleşecek, belki de hiç priz yapmayacaktır.
- c) Kireç harçlarında priz olayının gerçekleşmesi ısı ve bağıl nemin sabit seyretmesiyle, düzenli karbonizasyonla sağlanmaktadır. Hava kireçleri su ile değil de, havanın karbondioksiti ile kimyasal reaksiyona girmesi sonucu karbonatlaşarak sertleşir. Bu tür harçların temel duvarları veya kalın duvarların çekirdeklerinde kullanıldığı örneklerde harç, uzun yıllar prizini tamamlayamamaktadır. Genelde, eski eserler kalın duvarlara sahip olup, buralarda restorasyon esnasında kullanılacak kireç harcı, bünyesindeki suyu kolaylıkla kaybedemeyeceği ve havanın karbondioksitini rahat alamayacağı için, duvar içi karbonizasyon son derece yavaş ve güvenilmez olur.

Bu kullanım sakıncaları yanı sıra, mekanik bakış açısından iyice priz yapmış harçları, oldukça iyi nitelikleri de taşımaktadır. Özellikle sahip oldukları yüksek deformasyon yeteneği ile bazı diferansiyel değişimlere kolaylıkla uyum sağlar. Geniş boşluk hücrelerine sahip olan kireç harçlarının, bu boşlukların toplam boşluk içindeki oranının iyi bir dengede olması sebebiyle,



nem ve buhar geçişini engellememesi, çimento harçlarına göre daha iyi olan avantajlı özellikleridir.

Çimentonun hidrolik özellikleri ve kolay kullanımı ile kireç harçlarının düşük gerilme, yüksek deformasyon porozite vb. pozitif özelliklerini birleştirerek, kullanmak amacıyla kireç-çimento harçları üretilmiştir; ancak bu bileşimin beklendiği kadar kusursuz olmadığı anlaşılmıştır. İlk denemelerde hazırlanan harç karışımının nispeten kuru ortamda priz yapması sağlanmış, ancak bu durumda, harcın mekanik özelliklerinin saf kireç harcından kötü olduğu saptanmıştır. Buna sebep ise, çimento kısmın kuru ortamda sertleşmeyerek, dolgu malzemesi gibi davranmasıdır. Tersine olduğu takdirde, tabii harcın nemli ortamda priz yapması halinde, çimento sertleşmesini tamamlarken, kirecin bir kısmı karbonatlaşacak veya hiç karbonatlaşmayacaktır. Harcın direncini artırmak amacıyla, çimentonun kireçten fazla oranda kullanıldığı örneklerde ise, malzeme bünyesinde çözülebilen tuzların, normalden çok olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak, ayrı ayrı iyi niteliklere sahip bu malzemelerin, negatif yönlerinin giderilmesinin, bunların birarada kullanılmasıyla sağlanamayacağı anlaşılmıştır.

Kireç harçlarına, hidrolik bağlayıcı olma özelliği vermek amacıyla yapılan çalışmalar sonucu, su kireçleri bulunmuştur. Alüminyum ve silis içeren marnlı kireç taşlarının yakılması sonucu elde edilen su kireçlerinin, mekanik mukavemeti hava kireçlerinden yüksektir. Su kireçlerinin su içerisinde prizini tamamlaması, suya direnci hiç olmayan hava kireçlerine göre, sahip olduğu diğer bir üstünlüktür. Ancak bunların sertleşmeleri, çimentonunkinden daha yavaş, bağlayıcılık özellikleri ise daha zayıftır. Eğer su kireçlerine kuru ortamda priz yaptırılırsa, normal kireç harçlarından daha kötü mekanik özelliklere sahip olur. Çimento harcı ise 0°C nin altına düşmedikçe hiçbir katkı malzemesine ihtiyaç duymadan, her orandaki bağıl nemde kullanım olanağı vermektedir. Çimentonun bulunmasıyla gelen bu avantaj, inşaat mevsiminin tüm yıla yayılmasını sağlamıştır (Ersen,1991).

Geleneksel harçlar, zamanla bozulmaya uğradıkları için tam analizleri yapılamamış olsa da, puzolanik ve organik katkı maddeleri kullanılarak, mekanik özellikleri geliştirilmiş kireç harçları oldukları bilinmektedir. Puzolanik toprakların bulunmadığı yerlerde M.Ö. 150'de Mısır'dan, Vitruvius zamanından 1850'lere kadar farklı bölgelerde yapılmış uygulamalardan, harç içerisine albümin, kitre zamkı, doğal reçineler, balmumu, kazein, keratin, ürin, malt, gomalak, yumurta akı, yumurta sarısı, peynir, pirinç, kesilmiş süt, arpa suyu, pamuk, kıtık, hayvan kılı, saman, kara ağaç kabukları vb. katkı malzemeleri kullanıldığı anlaşılmıştır.

Restorasyon çalışmalarında, gelişen çağa uygun malzemelerin kullanılmasıyla oluşturulan, yeni harç reçetelerinin uygulanması akılcı bir yaklaşımdır. Onarımda su kireci kullanılması veya hava kirecine kısmen çimento ya da katkı maddelerinin katılmasıyla kireç horasan harcının fiziksel özellikleri iyileştirilebilir. Tarihi harçlarda, bağlayıcılık özelliğinin artırılması amacıyla kullanılan organik maddeler, zamanla harç içerisinde biyolojik organizmaların üremesine sebep olur. Karınca, sinek, böcek, mikro organizmalar, likenler vb. organizmalar harç içerisinde oluşmasından sonra, biyolojik bozulmalar başlar. Bunun önlenmesi amacıyla organik katkı maddeleri yerine, sentetik katkı malzemeleri kullanılarak üretim yapılması yoluna gidilmiştir. Kullanılacak sentetik maddenin, hangi organik maddenin yerini alacağı konusunda karar vermek, ekonomik ve pratik nedenlerle oldukça güç olsa da, bunların tespitine ilişkin çalışmalara İngiltere’de devam etmektedir.

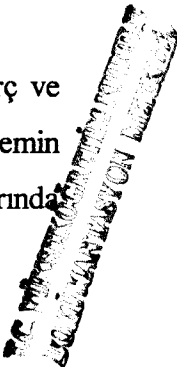
Günümüzde, tuğla, kiremit gibi seramik malzemelerin tozları, demir tozları, düşük sülfat içeren pulverize külleri harç içinde puzolanik katkı malzemesi olarak kullanılmasına devam etmektedir. İngiltere’de yapılan bu uygulamalarda kireç harcına sarı tuğla tozu katılmasıyla harcın renginde önemli bir değişiklik olmazken, kırmızı renkli tuğla tozu ve gri renkli küllerin kullanımı sonucunda, harcın renginin değiştiği gözlenmiştir. Kullanılacağı yere uygun olarak katkı maddeleriyle renklendirilen bu harç, sertleşmenin çok fazla gerekmediği yerlerde kullanılır. Bunun tersi istendiği zaman, çimento harçları kullanılır.

İsveç’te yapılan koruma çalışmaları uygulamalarında ise, harçlardaki kuma dolomit kırığı katılması yoluna gidilmiştir. Havadaki asidik ortam tüm harçlar üzerinde bozucu bir etki yapmaktadır. Bu harçlar ise, toplam karbonat miktarı artırılmış olduğundan, asidik kirliliğe karşı biraz daha dirençlidir.

Yapısını incelemiş olduğumuz kireç, çimento ve horasan harçlarının restorasyonda kullanımına ilişkin bir formül bulunması son derece yararlıdır. Horasan ve kireç harçlarıyla yapılacak olan harç, yapısındaki çözünür tuzların azlığı, suya direnci, mekanik mukavemetinin istenen düzeylerde oluşu ve genel horasan harç dokusu ile uyumlu oluşu sebebiyle, tarihi eser onarım çalışmalarında kullanılacak ideal harcı oluşturur.

#### 4.2 Başarılı Horasan Harcı Üretim Şartları

Eski Türk yapı teknolojisinin çok önemli ve gelişmiş yapı malzemeleri olan horasan harç ve betonlarının restorasyon çalışmaları sırasında oynadığı rol, eski eserlere verilen önemin artmasına paralel değer kazanmaktadır. Bu açıdan tarihi yapıların restorasyonlarında



kullanılmak üzere, horasan harcı ve betonuna benzer niteliklere sahip malzeme üretmek, kaçınılmaz hale gelmiştir.

Yeni bir üretime geçmeden önce, ideal koruma harcına ilişkin özelliklerin incelenmesinde fayda olup, bunlar şu şekilde özetlenir:

- a) Restorasyonda kullanılacak harç, kireç harçlarının sahip olduğu mekanik mukavemete benzer bir dirençte olmalı.
- b) Porozitesi yine kireç harçlarına benzer olmalı.
- c) Özellikle sodyum ve potasyum tuzları olmak üzere, çözünebilen tuzları en az miktarda içermeli.
- d) Özel teknikler gerektirmeden, kolaylıkla uygulanabilmeli.
- e) Gerçekleştirilmesi çok güç olmakla beraber, kuru veya nemli ortamlarda, yeterli çabuklukta güvenilir priz yapmalı.

Tarihi eser ile uyumlu malzeme üretimine yönelik yapılan araştırmaların, bir diğer amacı da, bulunan bu malzemenin günümüz yapılarında da yaygın kullanımını sağlamaktır. Yapılmış olan çalışmalar, horasan harç ve betonlarının, günümüz standartları açısından yeterli mukavemete sahip ve dayanıklı kâgir eleman üretimine elverişli olabileceğini ispatlar. Ancak, bu harcın mukavemetini etkileyen en önemli faktör zamandır. Çimento ve kireç harcında olduğu gibi zaman geçtikçe mukavemeti artmaktadır. Ancak, horasan harcı için gerekli zaman asırlarla değerlendirebilir. Puzolanik etkinin ortaya çıkması için gerekli olan zamanın, günümüz koşulları ile uyuşmaması, malzemenin güncel kullanımına bir darbe vurmaktadır.

Yapılan araştırmalar çerçevesinde, teknik açıdan başarılı olan horasan harcı veya betonu elde etme koşulları şöyle sıralanabilir (Satongar,1994).

Kullanılan tuğla veya benzeri pişmiş toprak, iyice pişirilerek, yeterli aktivite kazanmış olmalıdır.

- a) Yöresel malzemeye bağlı olarak birleşimlerin ve granülometrinin farklılık gösterebileceği ihtimalinden dolayı, pişmiş toprağın miktar ve granülometrisi iyice etüt edilmelidir.
- b) Puzolanik etkiyi arttırmak ve hızlandırmak için, horasan taneleri mümkün olduğunca ince öğütülmelidir.
- c) Malzemenin depolanması esnasında, ortamın nemli olması üzerinde fazla titizlenmeye

gerek yoktur. Puzolanik etkiyle beraber, kirecin karbonatlaşması da dayanım kazanmada önem taşımaktadır.

Sonuçta yapılacak üretim, doku, renk uyumu gibi estetik kaygılar yanında fiziksel ve mekanik nitelikleri de dikkate alan türde olmalıdır. Örneğin, kireç, tuğla cinsi, öğütme inceliği, tuğla tozu ve kırığının granülometrisi, kireç-horasan birleşim oranları, dayanıklılığı, sertleşme süresi, suya karşı olan mukavemet gibi birçok koşula dikkat edilerek, üretim yapılmasında fayda vardır.



## 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Her tarihi yapıdaki harç, aynı özellikleri taşımadığından, aynı bileşenleri ihtiva etmediğinden dolayı onarımda kullanılacak tek tip bir harçtan söz edilemez. O halde her yapı için, o yapının harç özellikleri, yapıda ve laboratuarda yapılan fiziksel ve kimyasal deneylerle restorasyon çalışması öncesi tespit edilmelidir. Bu özelliklerdeki harç üretilerek yapıya tatbik edilmelidir. Yapıya yapılacak müdahalede, mesela yıkılmış bir bölüm söz konusu ise veya zayıflamış kısımları onarmak gerekiyorsa, orijinale en uygun malzemeyi kullanmak gerekir. Aksi takdirde doğacak uyumsuzluklar, yapıya yararlı olmak yerine zarar verecektir.

Bu deneysel çalışmada, günümüzde tarihi yapılarda yapılacak onarım çalışmalarında kullanılacak olan horasan harcının bileşenlerinin, değişik oranlarda tutulmasının harçta meydana getirdiği etkiler araştırılmıştır.

Horasan harcında kullanıldığını bildiğimiz kireç, kum, pişmiş toprak kırıntısı, pişmiş toprak tozudur. Bunlara ek olarak bir teknolojik yan ürün olan cürufun puzolan olarak harç içine katıldığı takdirde harca hangi özellikleri kattığı da araştırılmıştır.

### 5.1 Deneyde kullanılan malzemeler

#### 5.1.1 Kireç

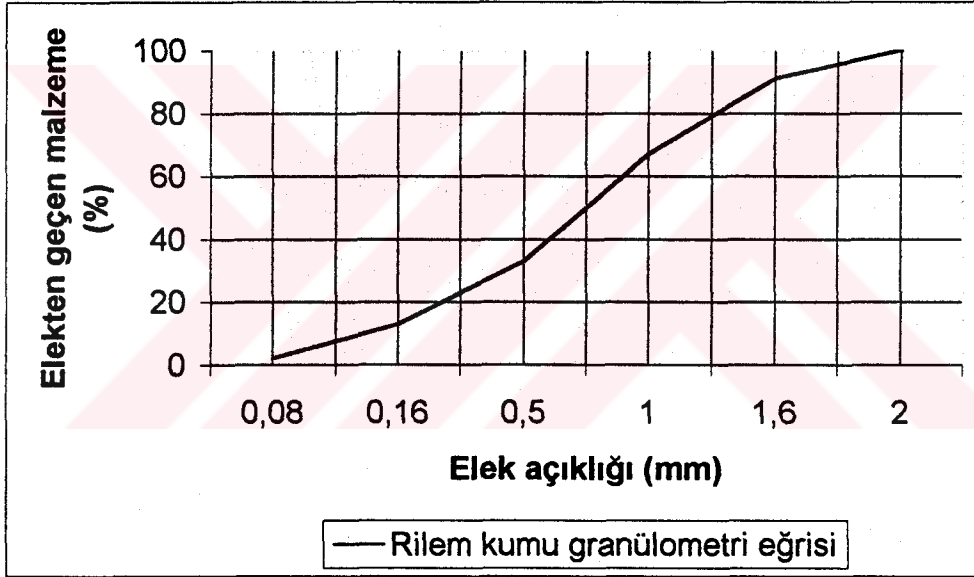
Deneylerde Özgül ağırlığı  $2,38\text{gr/cm}^3$  olan, TS 4022'ye uygun söndürülmüş "toz kalker kireci" kullanılmıştır (TS 4022,1977; TS 2848,1977).

#### 5.1.2 Standart RILEM Kumu

Deneylerde, TS 819'a uygun silis esaslı "RILEM CEMBUREAU Standart Kumu" kullanılmıştır. Aşağıda granülaometrik özellikleri verilen kumun birim ağırlığı  $2,01\text{ gr/cm}^3$  olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 5.1 RILEM kumu granülometri değerleri

Elek Göz Açıklığı (mm)	Elek Üzerinde Kalan (%)
0,08	98 ±2
0,16	87 ±2
0,50	67 ±2
1,00	33 ±2
1,60	9 ±2
2,00	0



Şekil 5.1 RILEM kumu granülometri eğrisi

### 5.1.3 Curuf

Üretimde kullanılan yüksek fırın cürufu, İskenderun Demir Çelik Fabrikaları'ndan temin edilmiştir. Özgül ağırlığı  $2,89 \text{ gr/cm}^3$ , özgül yüzeyi inceliği  $1180 \text{ cm}^2/\text{gr}$  olan cürufun kimyasal özellikleri Çizelge 5.2'de, mekanik özellikleri ise Çizelge 5.3'de verilmiştir (Çakır,2000).

Çizelge 5.2 Cürufun kimyasal analizi ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Özellikler	(%)
CaO	35,97
SiO <sub>2</sub> (Çözülen)	38,99
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,58
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,23
MgO	9,12
Mangan oksit	1,20
Potasyum oksit	0,95
Kükürt	0,72
Titan oksit	0,57

Çizelge 5.3 Cürufun mekanik özellikleri

7. gün Eğilme mukavemeti (MPa)	7. gün Basınç mukavemeti (MPa)
1,05	2,5

#### 5.1.4 Pişmiş toprak kırıntısı

Deneylede kullanılan pişmiş toprak tozu ve pişmiş toprak kırıntıları, Piyasadan temin edilen 290x190x135mm boyutlarında TS 4377 “AB” tipi düşey delikli taşıyıcı tuğlalardan imal edilmiştir. Teknik özellikleri Çizelge 5.4 ve 5.5’de verilen tuğlalar, önce kırılmış, bir grubu da öğütülmüştür. Üretimde agrega olarak kullanılmak için öğütülen tuğla kırıntıları eleklerden geçirilerek gruplandırılmış ve granülometrisi, RILEM kumunun granülometrisi ile örtüşecek şekilde 1350 gr.’lık karışımlar hazırlanmıştır. Pişmiş toprak kırıntısının birim ağırlığı 1,81 gr/cm<sup>3</sup>, özgül ağırlığı 2,5 gr/cm<sup>3</sup>’dür



Çizelge 5.4 3 adet numunenin X-Işını kırınım sonucu (M.T.A. 1999)

<b>Numune İşareti</b>	<b>Mineraller</b>
"72062.1"	Klorit, smektit, kuvars, mika, plajiyoklas, kaolen, amorf malzeme, amfibol
"72062.2"	Klorit, kalsit, smektit, plajiyoklaz, kuvars, mika, amorf malzeme, amfibol
"72062.3"	Klorit, kalsit, smektit, kuvars, plajiyoklaz, mika, karışık tabakalı kil minerali, kaolen, amorf malzeme

Not: Sonuçlar çokluk sırasına göre (çoktan aza doğru) verilmiştir



Çizelge 5.5 Tuğla hammaddesi içindeki mineral oranları (M.T.A. 1999)

"Num.1"	Feldspat(Plajiyoklaz)	%35.6
	Kuvars	%23.0
	Smektit (Montmorillonit)	%22.2
	Kaolenit	% 15.3
	Kalsit	% 2.9
	Mika (Muskovit)	%1.0
	Toplam:	100.0
"Num.2"	Feldspat (Plajiyoklaz)	% 29.1
	Kaolenit	%25.9
	Smektit (Montmorillonit)	%25.1
	Kuvars	% 14.3
	Kalsit	% 4.3
	Mika (Muskovit)	% 1.3
	Toplam:	100.0
"Num.3"	Kaolenit	%32.9
	Feldspat (Plajiyoklaz)	%28.3
	Smektit (Montmorillonit)	%21.2
	Kuvars	%12.0
	Kalsit	% 4.0
	Mika (Muskovit)	% 1.5
	Toplam	99.9
"Num.4"	Feldspat (Plajiyoklaz)	%29.5
	Kaolenit	% 27.5
	Smektit (Montmorillonit)	% 24.5
	Kuvars	%13.2
	Kalsit	% 3.8
	Mika (Muskovit)	% 1.4
	Toplam	99.9

Hammadde içindeki minareller:

Kaolinit (bağlayıcı), Bütün killerin ana maddesidir.  $Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$  doğal suyu olan alüminyum silikattır. Beyaz, açık mavi olarak tabiatta bulunur. Suda şişme özelliğine sahiptir.

Feldispat (bağlayıcı), üç boyutlu bileşik silikattır. Ortoklas ( $SiO_2Al_2O_3K_2O$ ) K yerine Ca ve Na gelebilir. Su ve  $CO_2$  ile bozularak kaolinite dönüşür. Renksiz beyazdır. Plajiyoklaz feldispatın Na ve Ca fazlaşmış şeklidir, porselen hammaddesidir. Erime sıcaklığı diğerlerine göre düşüktür (1150C).

Klorit (dolgu renk verici), genel anlamda mikadır. Feldispat ile reaksiyona girip bağlayıcılığı bozular. Bileşimi  $Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2$ 'dir. Rengi Yeşil ve gridir.

Kalsit ( $CaCO_3$ ), beyaz, gri, kırmızı, yeşil, mavi, sarı renkte olabilir. Kılcal çatlaklar yapar, düşük sıcaklıkta şişmeyi sağlar, gözenekleri kapatarak doluluk sağlar, malzemeyi ağırlştırır.

Kuvars (dolgu, kum), Silivri'deki kum demirli kuvars olduğu için kahverengidir.

Mika (muskovit) kile plastiklik verir.  $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$

Simektit (montmorillont, bağlayıcı), bentonit ana maddesidir. Kaolonite benzer kildir. Plastikliği artırır, suda şişme özelliği vardır. Bileşimi  $5SiO_2MgOAl_2O_3H_2O$  olan simektidin de bileşiminde, bazı yerlerde Mg yerine Ca olabilir.

### 5.1.5 Pişmiş toprak tozu

Horasan harcına puzolanik özellikleriyle katkıda bulunan pişmiş toprak tozu, piyasadan temin edilen, 290x190x135mm boyutlarında TS 4377 "AB" tipi düşey delikli taşıyıcı tuğlaların döner çarklı değirmende kırılması ve öğütülmesiyle elde edilmiştir. Elek analizi yapılarak, tuğladan elde edilen tozun dane boyutları cürufun dane boyutlarına yaklaştırılmıştır. Pişmiş toprak tozunun özgül ağırlığı  $2,5 \text{ gr/cm}^3$  olarak belirlenmiştir. Pişmiş toprak kırıntısı, bahsindeki (Bölüm:5.1.4) tuğla özellikleri geçerlidir.

Çizelge 5.6 Cüruf ve pişmiş toprak tozunun inceliklerinin karşılaştırılması

	900 gözlü elek üstünde kalan miktar	900-4700 gözlü elekler arasında kalan miktar	4700 gözlü elek altına geçen miktar
Cüruf	% 8,3	% 53,2	% 38,5
Pişmiş toprak tozu	% 12,7	% 49,6	% 37,7

## 5.2 Üretim

Özellikleri Çizelge 5.1 – 5.6’da verilen malzemeler değişik oranlarda kullanılarak karışım oranları Çizelge 5.7’de verilen 10 seri harç üretilmiştir. Bu suretle tarihi yapıların onarımına uygun harç karışımı, cüruf, pişmiş toprak tozu ve pişmiş toprak kırıntısının harç özelliklerine etkileri araştırılmıştır.

40<sup>mm</sup>x40<sup>mm</sup> x160<sup>mm</sup> boyutlarında numuneler üretilmiştir.

Yayılması ve birim ağırlığı deneysel olarak belirlenen harçlar, üretimden 48 saat sonra kalıplardan çıkarılmıştır. Numuneler, deneylerin yapılacağı 14,28,56 ve 90 güne kadar nisbi nemi %50±5, sıcaklığı 17±3°C olan ortamda bekletilmiştir.

Harç özelliklerinin zamana bağlı değişimini irdelemek için numuneler 14, 28, 56 ve 90 gün bekletildikten sonra deneyler yapılmıştır.

Farklı üretim gruplarında puzolanik etkileri araştırılan cüruf ve pişmiş toprak tozu belirli oranlarda karışıma katılmışlardır. Bu oranlar her iki malzeme için de %10, %20, %30 ve %40 olarak belirlenip kireçle ikameli olarak kullanılmışlardır. Dolgu malzemesi olarak RILEM kumu ve pişmiş toprak tozunun mukavemete etkisini incelemek için her iki malzemeyle de farklı gruplarda üretim yapılmıştır.

Bu şekilde 10 grup belirlenmiş ve bu grupların her birinden 14, 28, 56 ve 90. günlerde deneyler yapmak için 4er adet üretim yapılmıştır. Her üretimde 3er adet 4x4x16cm ebadında toplam 120 adet numune üretilmiştir.

Numunelerin kodlanması Çizelge 5.7’de verilmiştir. Oranlar, malzeme ağırlıklarının kireç ağırlığına oranlanmasıyla belirlenmiştir.

Çizelge 5.7 Üretilen numunelerin kodlanması ve malzeme karışım oranları

Numune kodu	Açıklama	Su	Kireç	RILEM kumu	Pişmiş toprak kırıntısı	Cüruf	Pişmiş toprak tozu
A	Kireç + RILEM kumu	0,76	1,00	3,00	-	-	-
B	Kireç + Pişmiş toprak kırıntısı	1,40	1,00	-	3,00	-	-
C 10	Kireç + Cüruf+RILEM kumu	0,76	0,90	3,00	-	0,10	-
C 20	Kireç + Cüruf+RILEM kumu	0,76	0,80	3,00	-	0,20	-
C 30	Kireç + Cüruf+RILEM kumu	0,76	0,70	3,00	-	0,30	-
C 40	Kireç + Cüruf+RILEM kumu	0,76	0,60	3,00	-	0,40	-
D 10	Kireç + Pişmiş toprak tozu +RILEM kumu	0,76	0,90	3,00	-	-	0,10
D 20	Kireç + Pişmiş toprak tozu +RILEM kumu	0,76	0,80	3,00	-	-	0,20
D 30	Kireç + Pişmiş toprak tozu +RILEM kumu	0,76	0,70	3,00	-	-	0,30
D 40	Kireç + Pişmiş toprak tozu +RILEM kumu	0,76	0,60	3,00	-	-	0,40

### 5.3 Taze harçta yapılan deneyler

#### 5.3.1 Yayılma deneyi

Yayılma deneyi, harçta kullanılacak su miktarını tayin etmek için yapılmıştır. Bu deneyde üretilen numuneler iki ana grup altında değerlendirilmiştir.

- Dolgu malzemesi RILEM kumu olan numuneler
- Dolgu malzemesi pişmiş toprak kırıntısı olan numuneler

Bu iki ana grup için ayrı ayrı yayılma deneyleri yapılmıştır. Yayılma deneyi, sarsma tablası üzerine yerleştirilen tabanı 10 cm çaplı içi boş koni içine iki kerede şişlenerek yerleştirilen harcın, koni kaldırıldıktan sonra sarsma tablasının 15 saniye içinde 25 kere düşürülmesi şeklinde uygulanmıştır. Sarsmadan sonra yapılan ölçümlerle harcın yayılma miktarları belirlenmiştir. Birkaç deneme yapılarak optimum su oranı tespit edilmeye çalışılmış ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. Son denemede bulunan değerler üretimde kullanılmıştır.

Çizelge 5.8 Yayılma deneyine göre RILEM kumuyla üretilen numunelerin su oranının belirlenmesi

Denemeler	RILEM kumu miktarı (gr)	Kireç miktarı (gr)	Su (gr)	Yayılma ortalaması (cm)	w=su/bağlayıcı
1.	1350	450	450	19,7	1
2.	1350	450	360	13	0,8
3.	1350	450	340	12,2	0,756

Çizelge 5.9 Yayılma deneyine göre pişmiş toprak kırıntısıyla üretilen numunelerin su oranının belirlenmesi

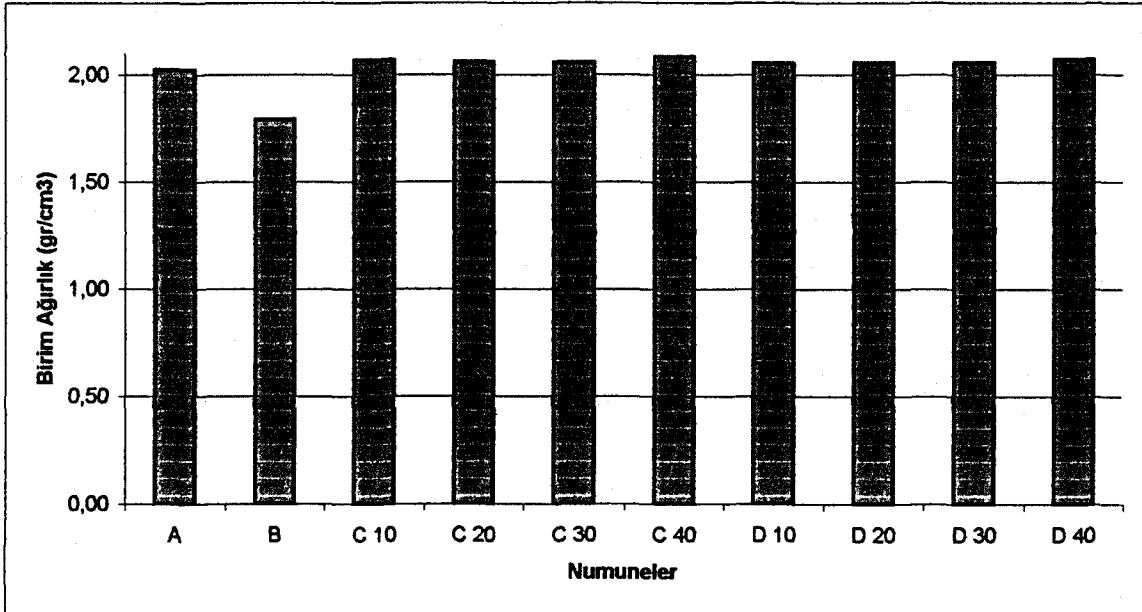
Denemeler	Pişmiş Toprak kırıntısı miktarı (gr)	Kireç miktarı (gr)	Su (gr)	Yayılma ortalaması (cm)	w=su/bağlayıcı
1.	1350	450	590	10,5	1,3
2.	1350	450	630	12,5	1,4

### 5.3.2 Birim ağırlık deneyi

Üretim aşamasında önce kalıplar tartılmış ve ağırlıkları (dara) tespit edilmiştir. Taze harç numuneler kalıplara yerleştirildikten sonra tartılmış, kalıp ağırlığı göz önüne alınarak ortalama birim ağırlıklar hesaplanmıştır (Şekil 5.2). Birim ağırlıklardan yola çıkılarak gerçek dozaj ve  $1m^3$  harç için gerçek malzeme miktarları hesaplanmıştır (Çizelge 5.10).

Çizelge 5.10 Taze harçta birim ağırlıklar ve gerçek malzeme miktarları

Numune kodu	Ortalama Birim. Ağ. ( $\beta$ ) ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	Gerçek Dozaj	1 m <sup>3</sup> için gerçek malzeme miktarları (kg)					
			Su	Kireç	RILEM Kumu	Pişmiş toprak kıvrıtısı	Cüruf	Pişmiş toprak tozu
A	2,02	425,37	323,28	425,37	1276,10	0,00	0,00	0,00
B	1,79	332,15	465,01	332,15	0,00	996,46	0,00	0,00
C 10	2,07	434,94	330,55	391,45	1304,82	0,00	43,49	0,00
C 20	2,06	433,23	329,25	346,58	1299,69	0,00	86,65	0,00
C 30	2,06	432,55	328,74	302,78	1297,64	0,00	129,76	0,00
C 40	2,08	438,02	332,89	262,81	1314,05	0,00	175,21	0,00
D 10	2,05	431,52	327,96	388,37	1294,56	0,00	0,00	43,15
D 20	2,06	432,55	328,74	346,04	1297,64	0,00	0,00	86,51
D 30	2,06	432,20	328,48	302,54	1296,61	0,00	0,00	129,66
D 40	2,07	435,62	331,07	261,37	1306,87	0,00	0,00	174,25



Şekil 5.2 Taze harçta ortalama birim ağırlıklar



## 5.4 Sertleşmiş harçlarda yapılan deneyler

Numuneler laboratuarda ortamında havada küre tabi tutulmuşlardır. Laboratuar ortalama sıcaklığı  $20\pm 3^{\circ}\text{C}$  ve ortalama nisbi nemi  $\%50\pm 5$  olarak tespit edilmiştir. 14, 28, 56 ve 90 gün bu şartlarda bekletilen numuneler üzerinde birim ağırlık, ultrases geçiş hızı, eğilme ve basınç deneyleri uygulanmıştır. .

### 5.4.1 Birim ağırlık

Numuneler fiziksel ve mekanik deneylere tabi tutulmadan önce 0,1 gr duyarlıklı 4000 gr kapasiteli elektronik tartıda tartılmış ve ortalama birim ağırlıklar hesaplanmıştır. Hesaplanan birim ağırlık değerleri Çizelge 5.11’de verilmiştir.

Çizelge 5.11 Sertleşmiş harçlarda birim ağırlıklar ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

	A	B	C 10	C 20	C 30	C 40	D 10	D 20	D 30	D 40
14. gün	1,75	1,39	1,74	1,76	1,76	1,79	1,75	1,77	1,76	1,76
28. gün	1,73	1,37	1,73	1,77	1,77	1,78	1,75	1,77	1,76	1,77
56. gün	1,72	1,37	1,77	1,78	1,78	1,79	1,76	1,77	1,76	1,77
90. gün	1,72	1,40	1,79	1,80	1,80	1,81	1,75	1,77	1,77	1,78

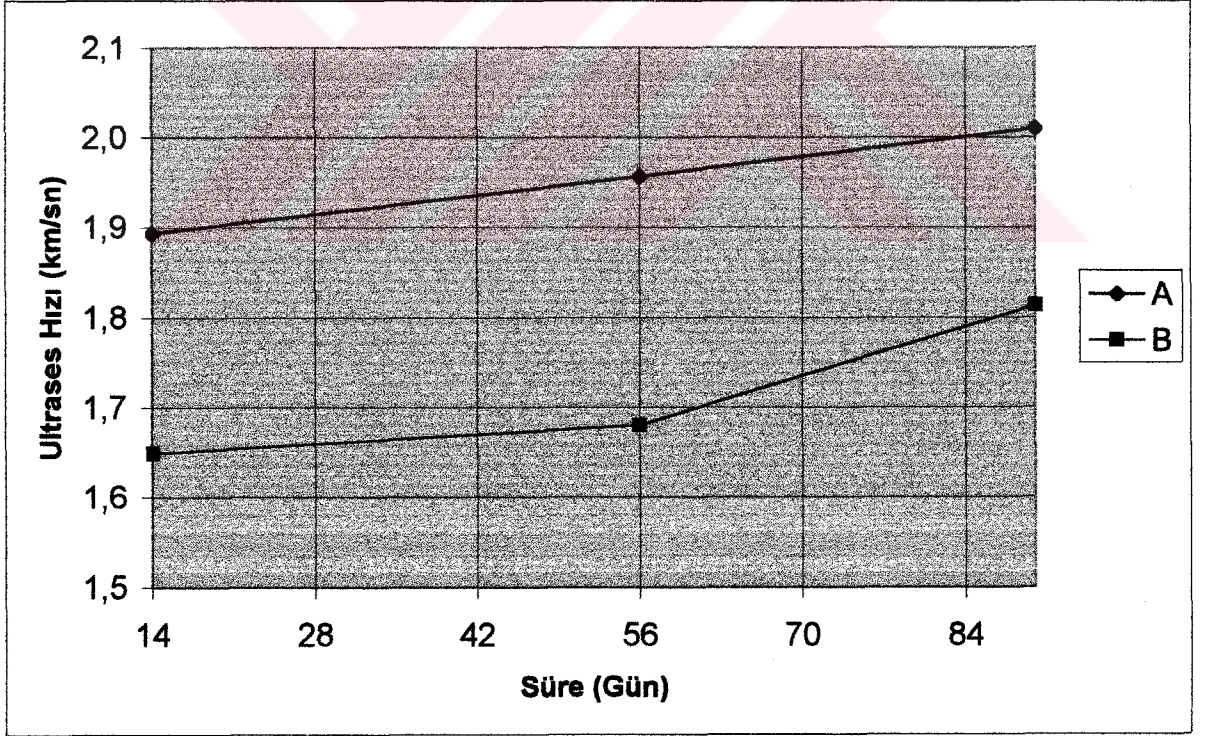
### 5.4.2 Ultrases geçiş hızı deneyi

Tespit edilen zaman aralıklarında laboratuar ortamında bekletilen numuneler tahribatlı deneyler uygulanmadan önce ultrases geçiş hızı deneyine tabi tutulmuşlardır.  $40^{\text{mm}}\times 40^{\text{mm}}\times 160^{\text{mm}}$  boyutlarındaki numunelerin  $40^{\text{mm}}\times 40^{\text{mm}}$  boyutundaki yüzeylerine ultrases cihazının propları yerleştirilerek sesin  $160^{\text{mm}}$ ’lik yolu kat etmesi sağlanmıştır. Değerler mikrosaniye ( $\mu\text{sn}$ ) olarak okunmuş olup, hesaplanan ultrases geçiş hızları Çizelge 5.12’de verilmiştir. Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6’da ise grupların zamana bağlı olarak karşılaştırmalı grafikleri verilmiştir.

Çizelge 5.12 Numunelerin ultrases geçiş hızları (km/sn)

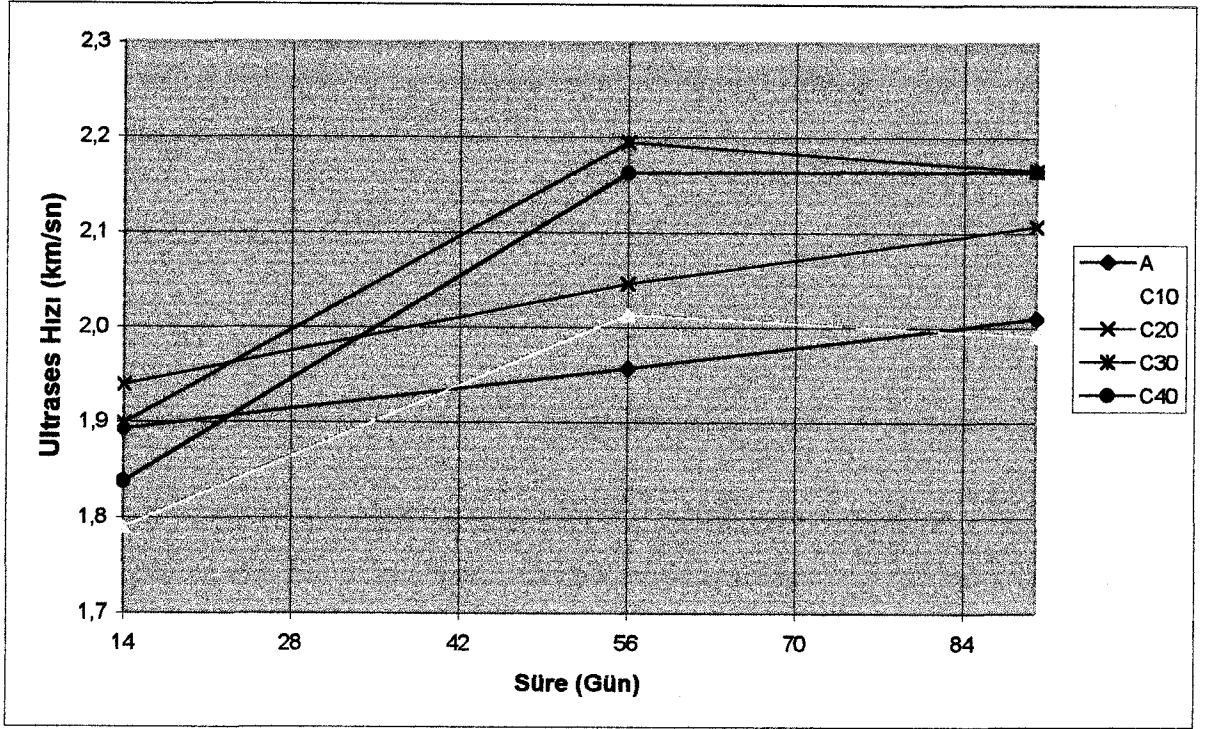
	A	B	C10	C20	C30	C40	D10	D20	D30	D40
14. gün	1,89	1,65	1,79	1,94	1,90	1,84	2,00	1,81	1,71	1,60
56. gün	1,96	1,68	2,01	2,05	2,19	2,16	1,88	1,85	1,66	1,68
90. gün	2,01	1,81	1,99	2,11	2,16	2,16	1,92	1,84	1,75	1,68

Şekil 5.3'teki grafikte de görüldüğü gibi A grubu (kireç+RILEM) numunelerin ultrases geçiş hızları B grubu (kireç+Pişmiş toprak kırıntısı) numunelerinden yaklaşık %15 daha yüksektir.

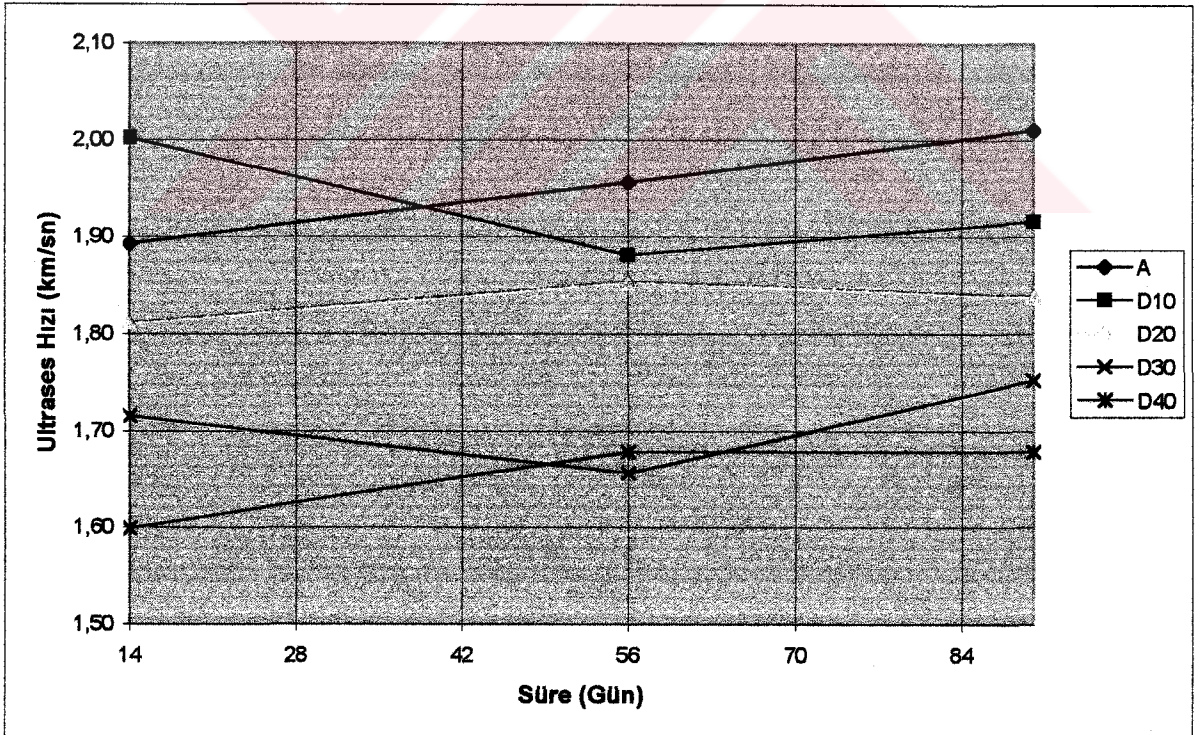


Şekil 5.3 A grubu (kireç+RILEM) ve B grubu (kireç+Pişmiş toprak kırıntısı) numunelerinin ultrases geçiş hızları grafiği



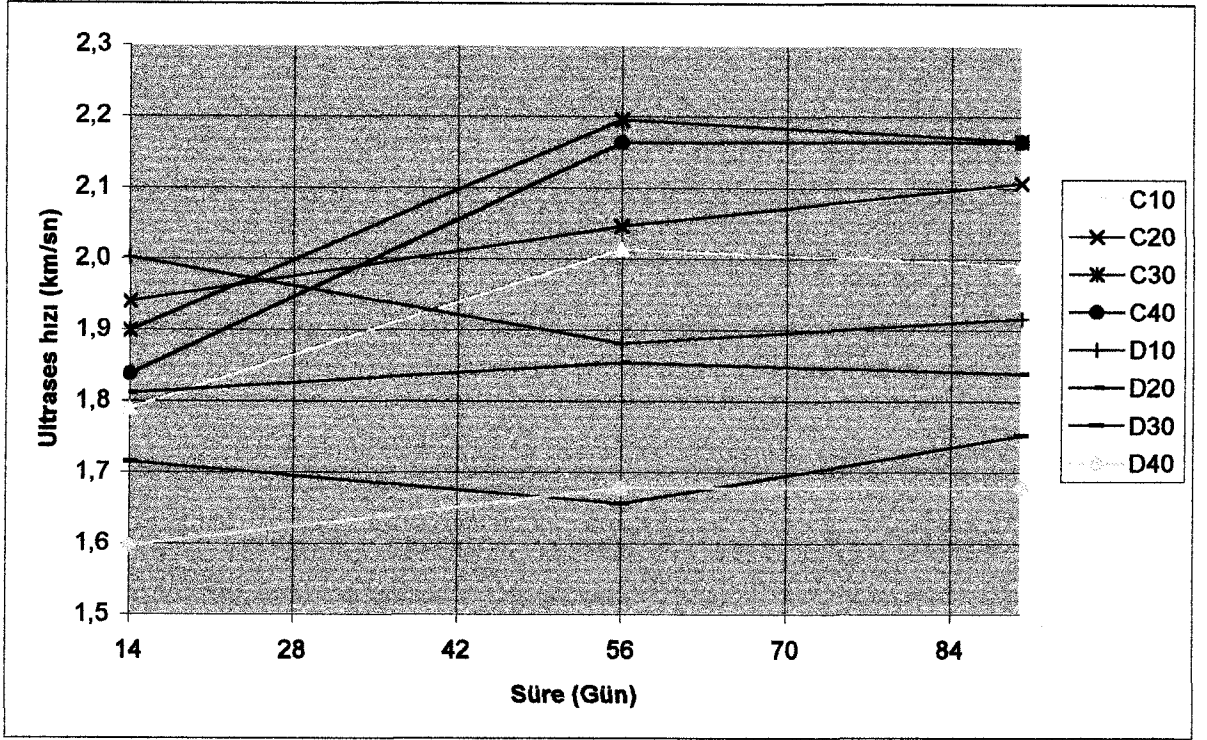


Şekil 5.4 A grubu (kireç+RILEM) ve C (kireç+RILEM+cüruf) gruplarının ultrases geçiş hızları grafiği



Şekil 5.5 A grubu (kireç+RILEM) ve D (kireç+RILEM+pişmiş toprak tozu) gruplarının ultrases geçiş hızları grafiği





Şekil 5.6 C (kireç+RILEM+cüruf) grupları ve D (kireç+RILEM+pişmiş toprak tozu) gruplarının ultrases geçiş hızları grafiği

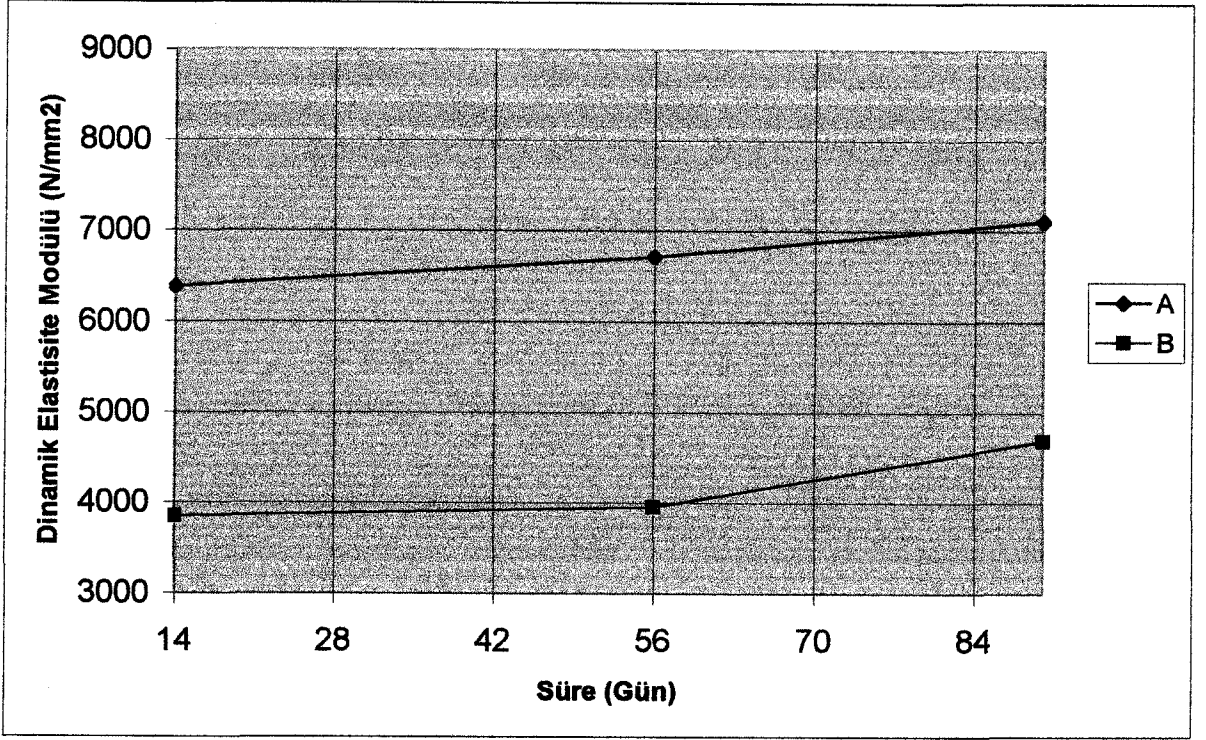
### 5.4.3 Dinamik Elastisite modülünün hesaplanması

Sertleşmiş harçtaki birim ağırlıklardan ve ultrases geçiş hızlarından faydalanarak numunelerin dinamik elastisite modülleri hesaplanmıştır. Hesaplanan dinamik elastisite modülleri Çizelge 5.13'te verilmiştir. Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da ise grupların zamana bağlı olarak karşılaştırmalı grafikleri verilmiştir.

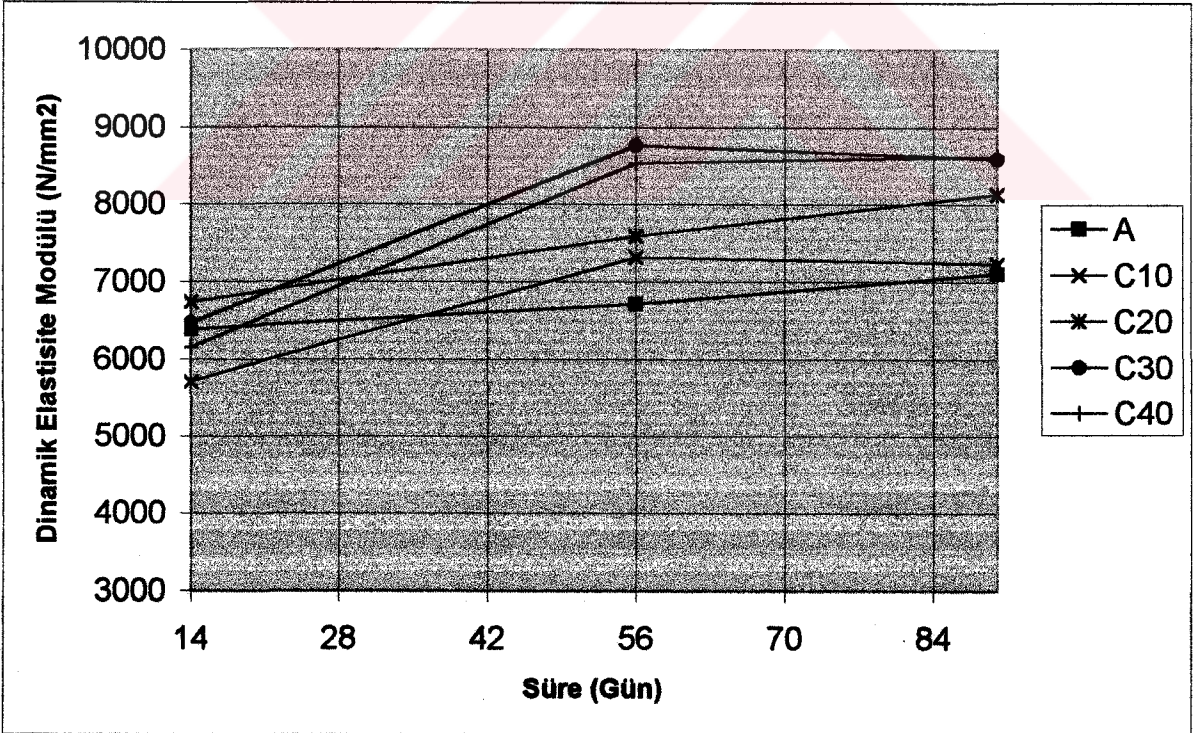
Çizelge 5.13 Numunelerin dinamik elastisite modülünün zamanla değişimi

Numune kodu Zaman	A	B	C10	C20	C30	C40	D10	D20	D30	D40
	Dinamik elastisite modülü (N/mm <sup>2</sup> )									
14. gün	6369	3838	5689	6728	6456	6142	7136	5901	5263	4579
56. gün	6706	3944	7304	7584	8754	8526	6291	6200	4916	5083
90. gün	7102	4680	7224	8131	8585	8619	6554	6109	5543	5114



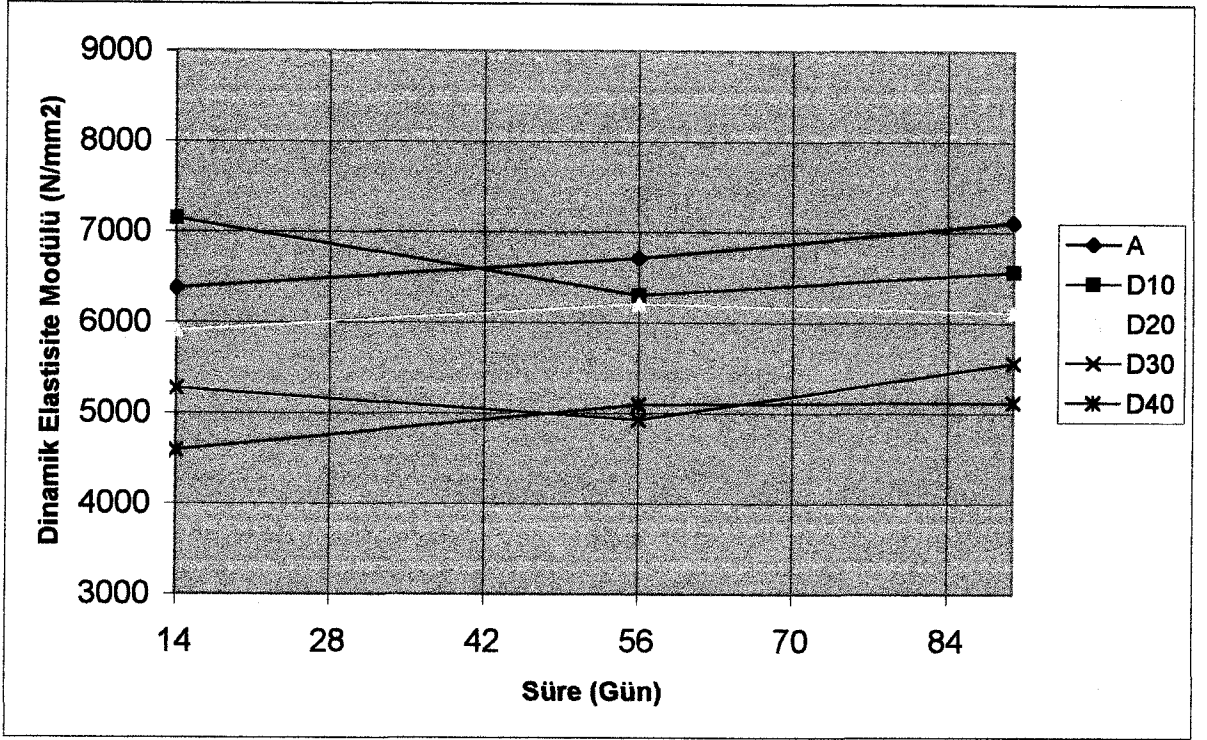


Şekil 5.7 A grubu (kireç+RILEM) ve B grubu (kireç+Pişmiş toprak kırıntısı) numunelerinin dinamik elastisite modülleri grafiği

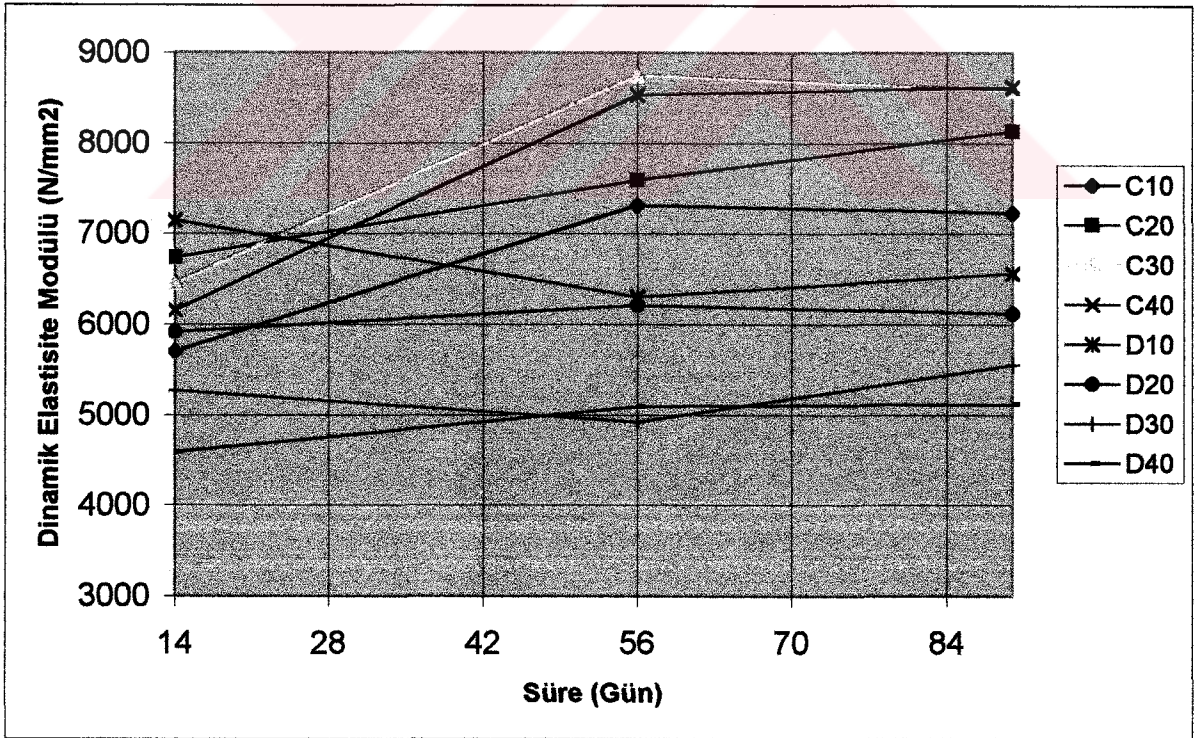


Şekil 5.8 A grubu (kireç+RILEM) ve C grubu (kireç+RILEM+cüruf) numunelerinin dinamik elastisite modülleri grafiği





Şekil 5.9 A grubu (kireç+RILEM) ve D grubu (kireç+RILEM+pişmiş toprak tozu) numunelerinin dinamik elastisite modülleri grafiği



Şekil 5.10 C grubu (kireç+RILEM+cüruf) ve D grubu (kireç+RILEM+pişmiş toprak tozu) numunelerinin dinamik elastisite modülleri grafiği

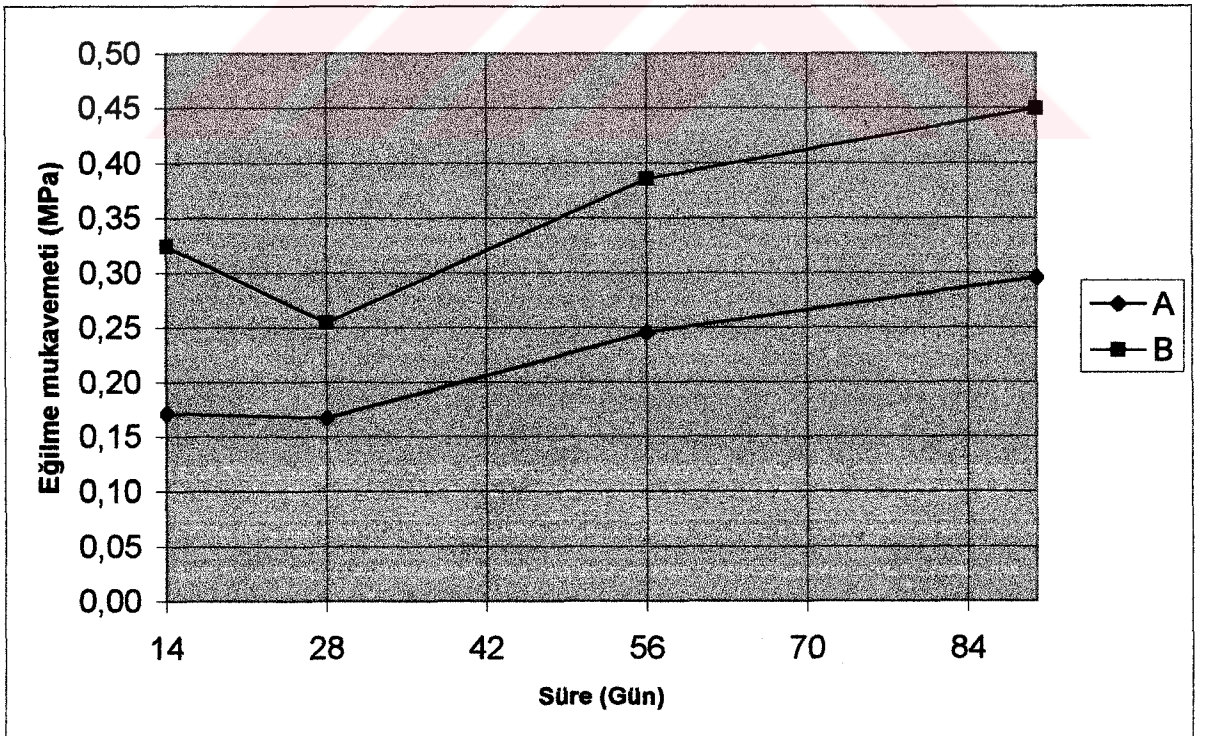


#### 5.4.4 Eğilme deneyi

Eğilme deneyi TS 24'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Bunun için numuneler, eğilme aleti altında mesnet açıklığı 100mm olan 10mm çaplı iki silindirik çubuk üzerine yerleştirilmiş ve aynı özellikteki yükleme silindiri ile açıklık ortasından  $5\pm 1$  kgf/sn yükleme hızı ile kırılmıştır. Tonindustrie firması tarafından üretilen Michaelis aletinde yapılan deneylerde elde edilen veriler grafik haline getirilmiştir. Numunelerin eğilme mukavemetleri Çizelge 5.14'te verilmiştir. Şekil 5.11, Şekil 5.12, Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'da ise grupların olarak zamana bağlı olarak karşılaştırmalı grafikleri verilmiştir.

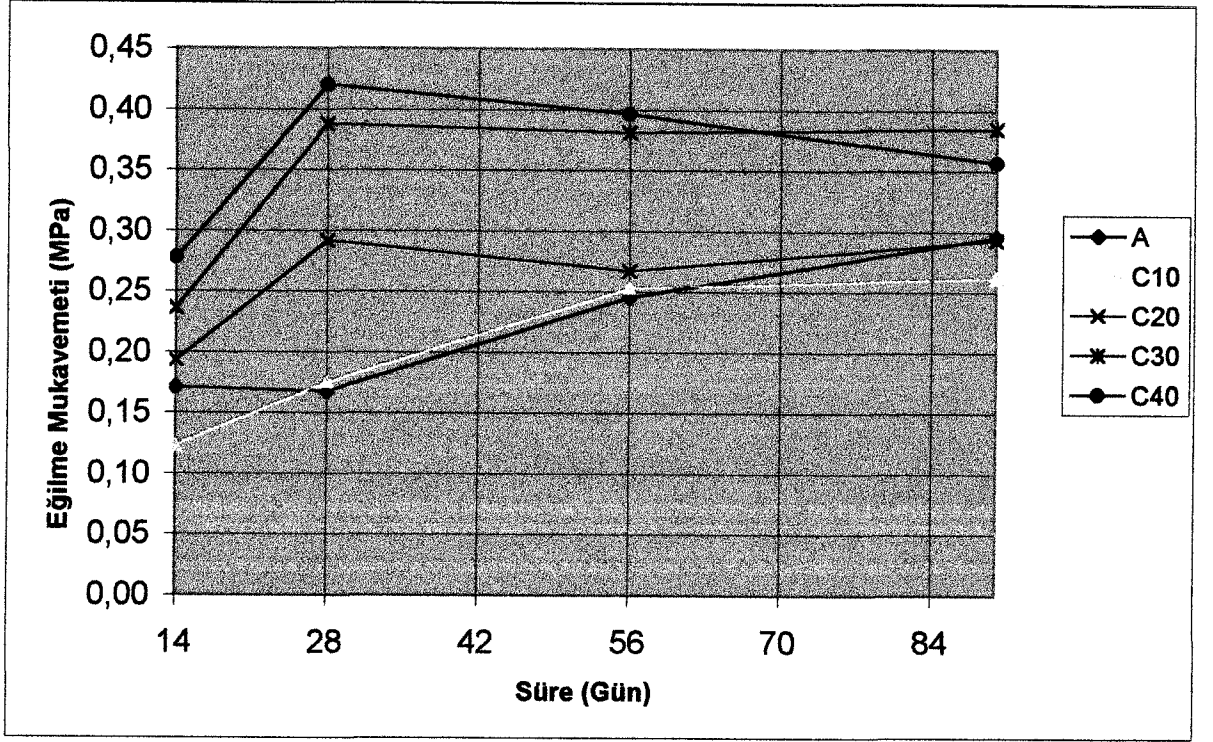
Çizelge 5.14 Ortalama eğilme mukavemeti değerleri (MPa)

Numune kodu	A	B	C10	C20	C30	C40	D10	D20	D30	D40
Zaman 14. gün	0,171	0,323	0,123	0,192	0,236	0,277	0,123	0,095	0,123	0,154
28. gün	0,167	0,254	0,174	0,291	0,387	0,419	0,187	0,151	0,138	0,182
56. gün	0,245	0,385	0,253	0,267	0,381	0,396	0,165	0,199	0,154	0,182
90. gün	0,295	0,449	0,262	0,292	0,385	0,356	0,226	0,162	0,144	0,221

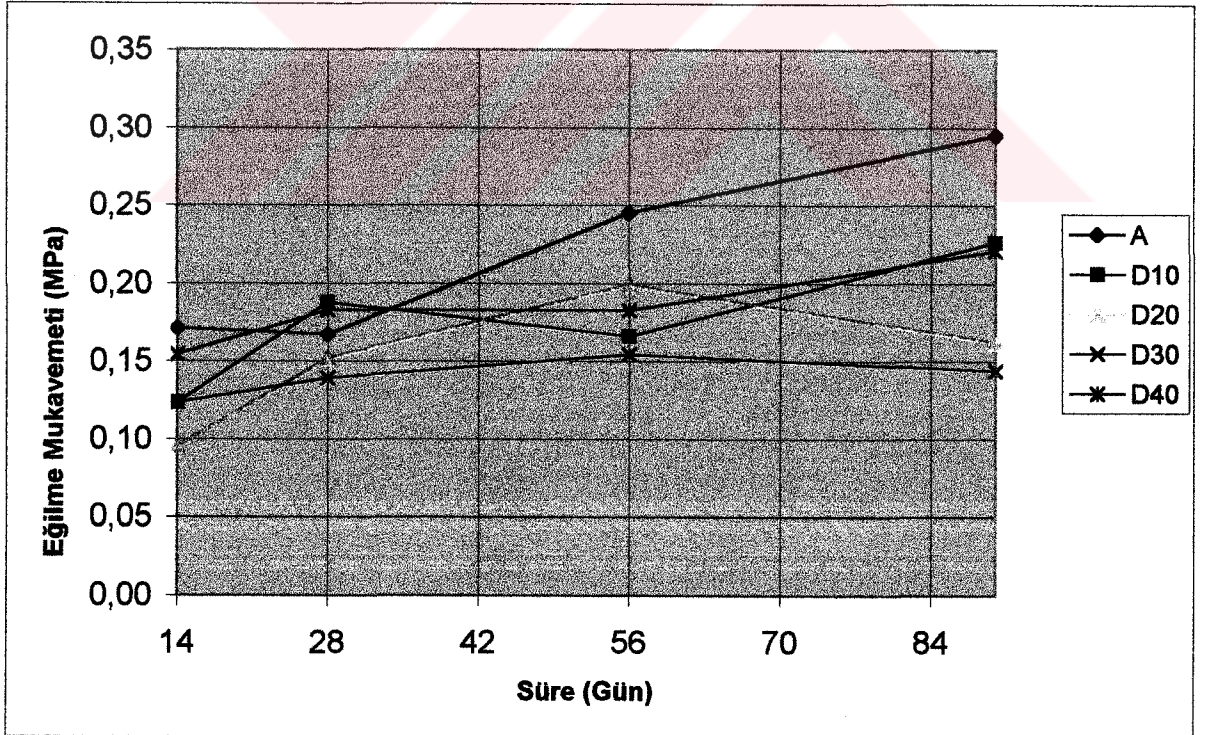


Şekil 5.11 A grubu (kireç+RILEM) ve B grubu (kireç+Pişmiş toprak kırıntısı) numunelerin eğilme mukavemetleri grafiği



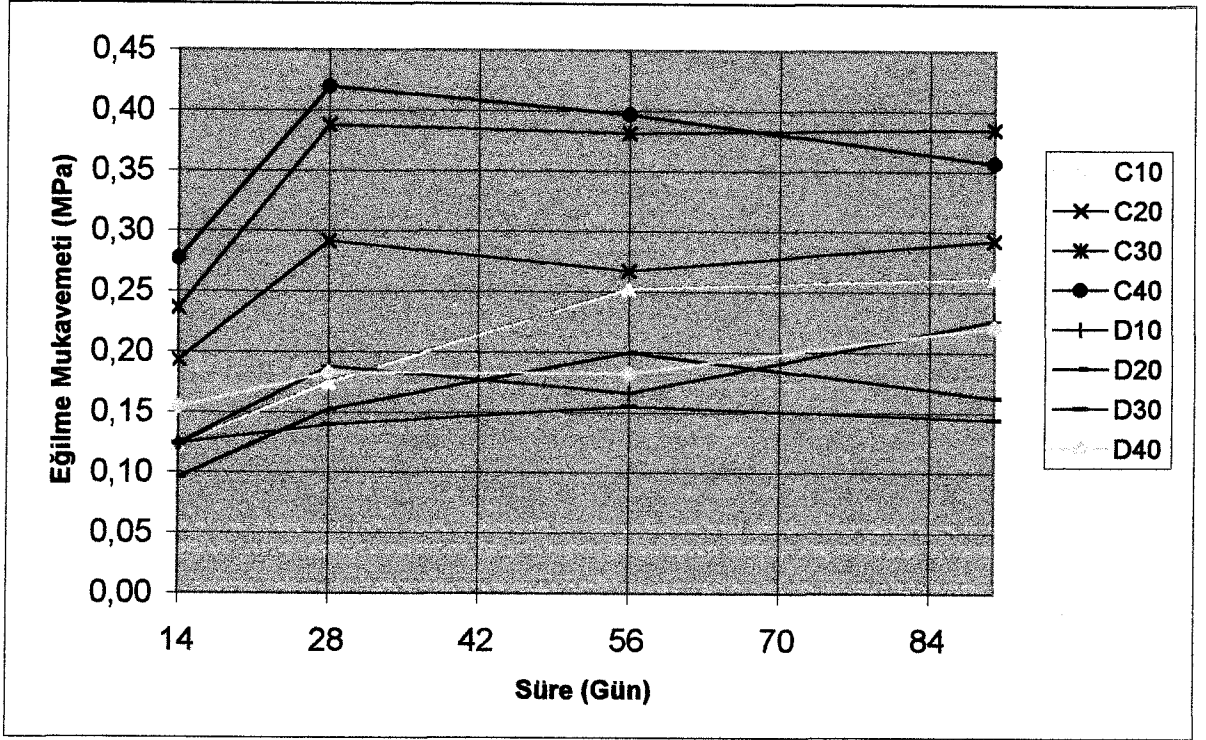


Şekil 5.12 A grubu (kireç+RILEM) ve C (kireç+RILEM+cüruf) gruplarının eğilme mukavemetleri grafiği



Şekil 5.13 A grubu (kireç+RILEM) ve D (kireç+RILEM+pişmiş toprak tozu) gruplarının eğilme mukavemetleri grafiği





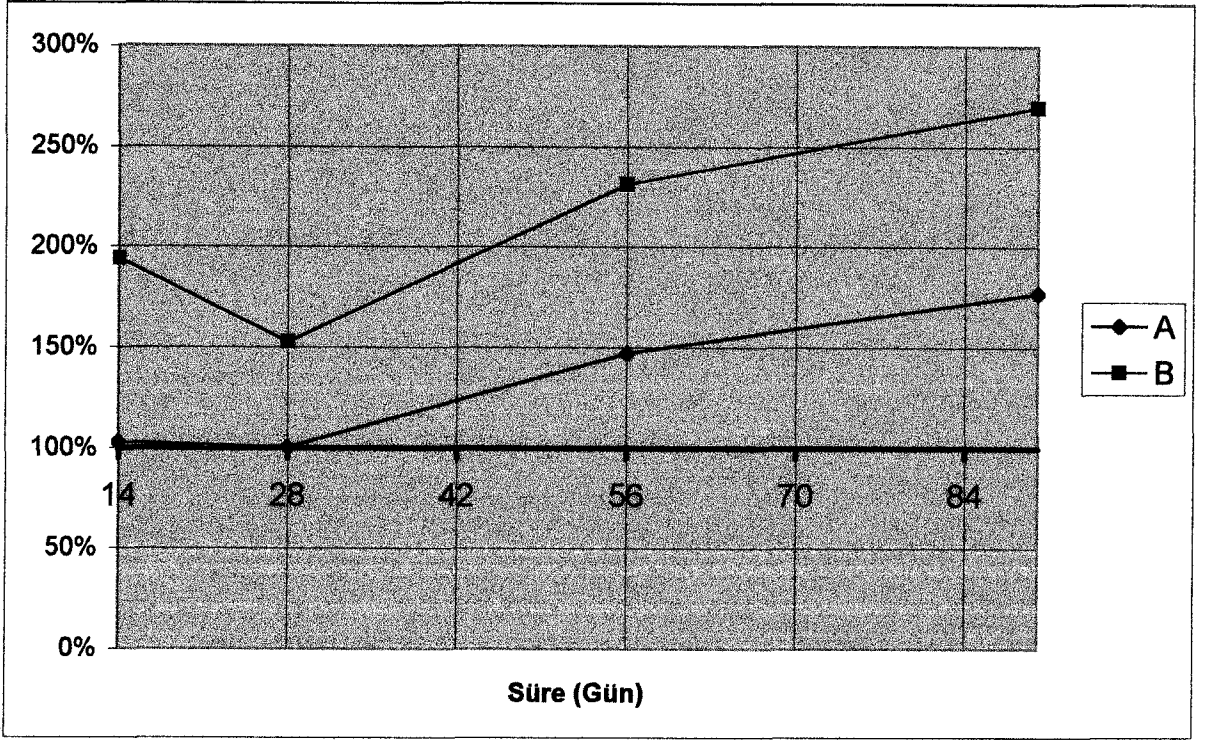
Şekil 5.14 C (kireç+RILEM+cüruf) grupları ve D (kireç+RILEM+pişmiş toprak tozu) gruplarının eğilme mukavemetleri grafiği

Bütün grupların 28. günde eğilme deneyi uygulanarak kırılan şahit numuneye (A serisi = kireç+RILEM kumu+su) göre bağıl eğilme mukavemetleri oranları Çizelge 5.15’de, karşılaştırmalı grafikleri ise Şekil 5.15, Şekil 5.16, Şekil 5.17 ve Şekil 5.18’de verilmiştir.

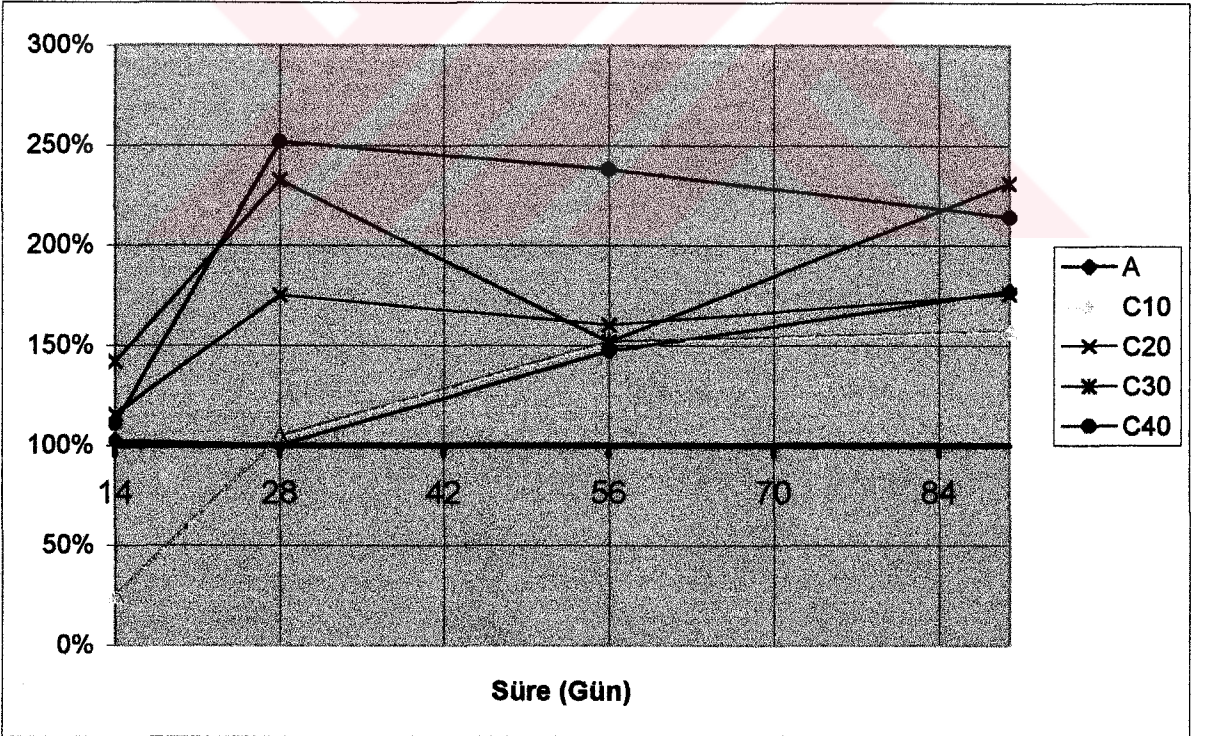
Çizelge 5.15 Tüm numunelerin eğilme mukavemetlerinin şahit numunenin 28. gündeki eğilme mukavemetlerine oranları

Eğilme / A28	A	B	C10	C20	C30	C40	D10	D20	D30	D40
14. gün	%102	%194	%25	%115	%142	%111	%49	%38	%25	%31
28. gün	%100	%152	%105	%175	%232	%252	%75	%60	%55	%109
56. gün	%147	%231	%152	%160	%152	%238	%65	%119	%31	%66
90. gün	%177	%269	%157	%175	%231	%214	%135	%65	%57	%88



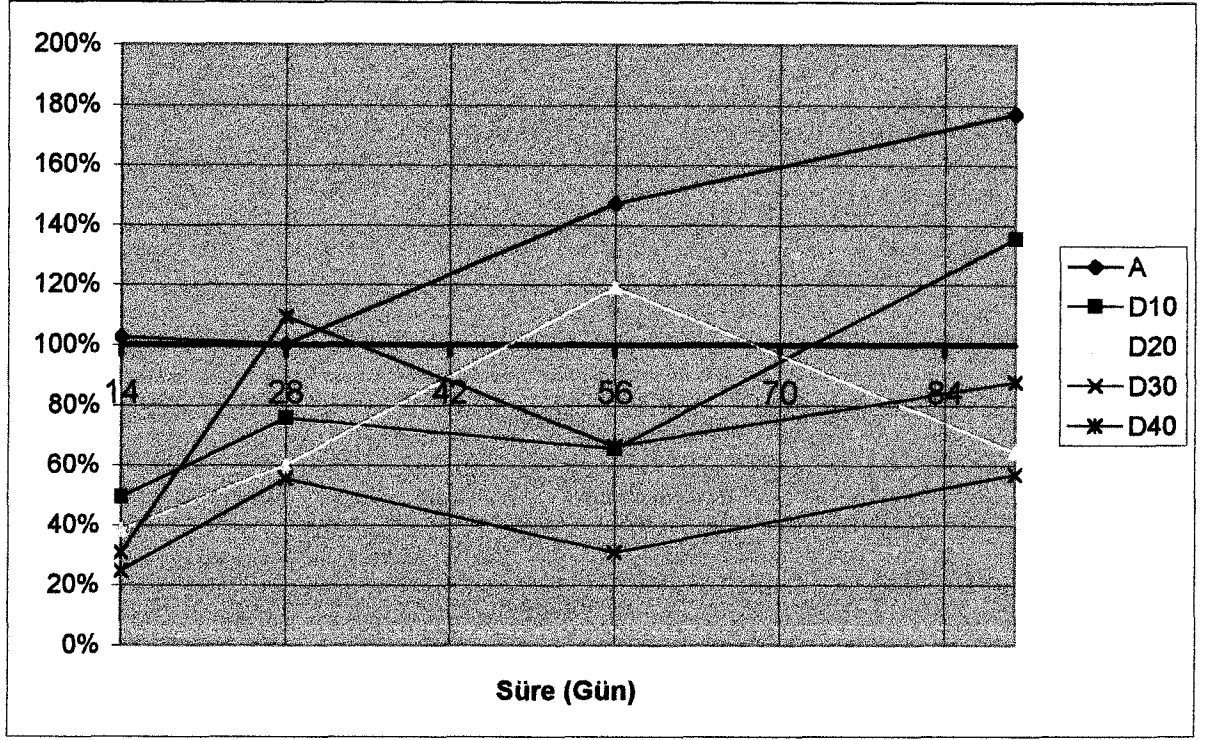


Şekil 5.15 B grubunun 28. gündeki şahit numuneye göre eğilme mukavemeti

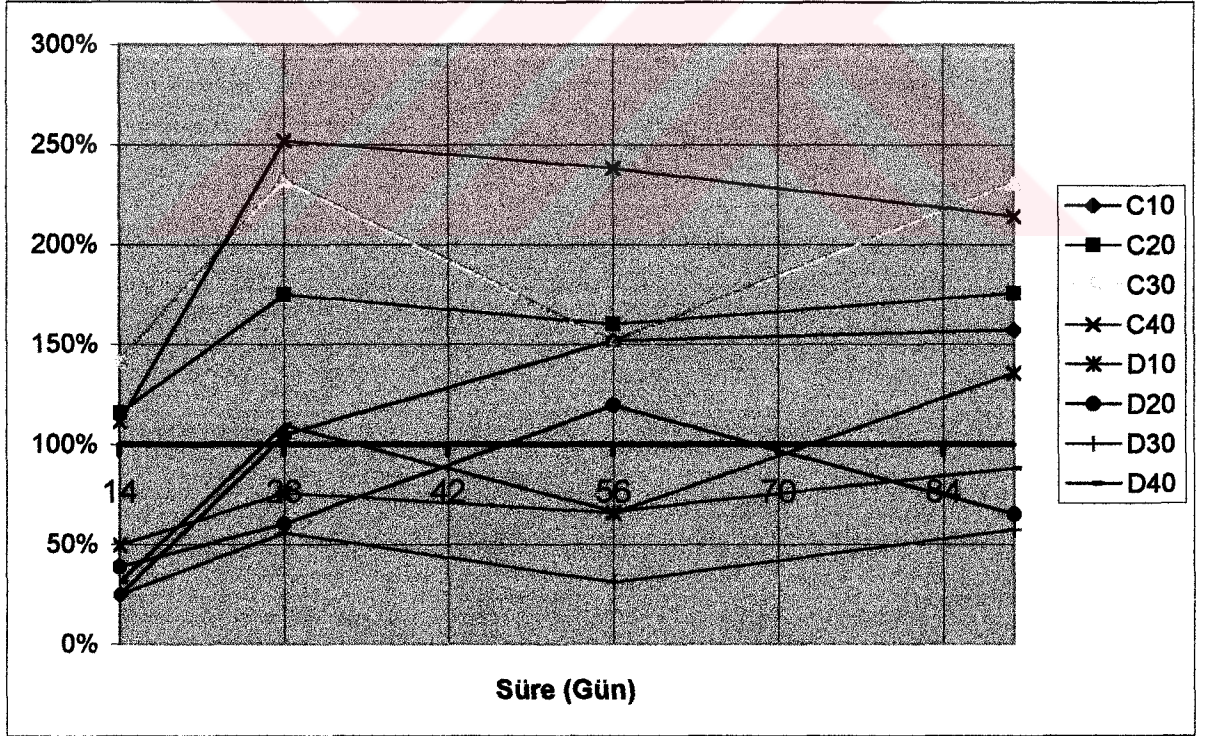


Şekil 5.16 C gruplarının 28. gündeki şahit numuneye göre eğilme mukavemeti





Şekil 5.17 D gruplarının 28. gündeki şahit numuneye göre eğilme mukavemeti



Şekil 5.18 C ve D gruplarının 28. gündeki şahit numuneye göre eğilme mukavemeti

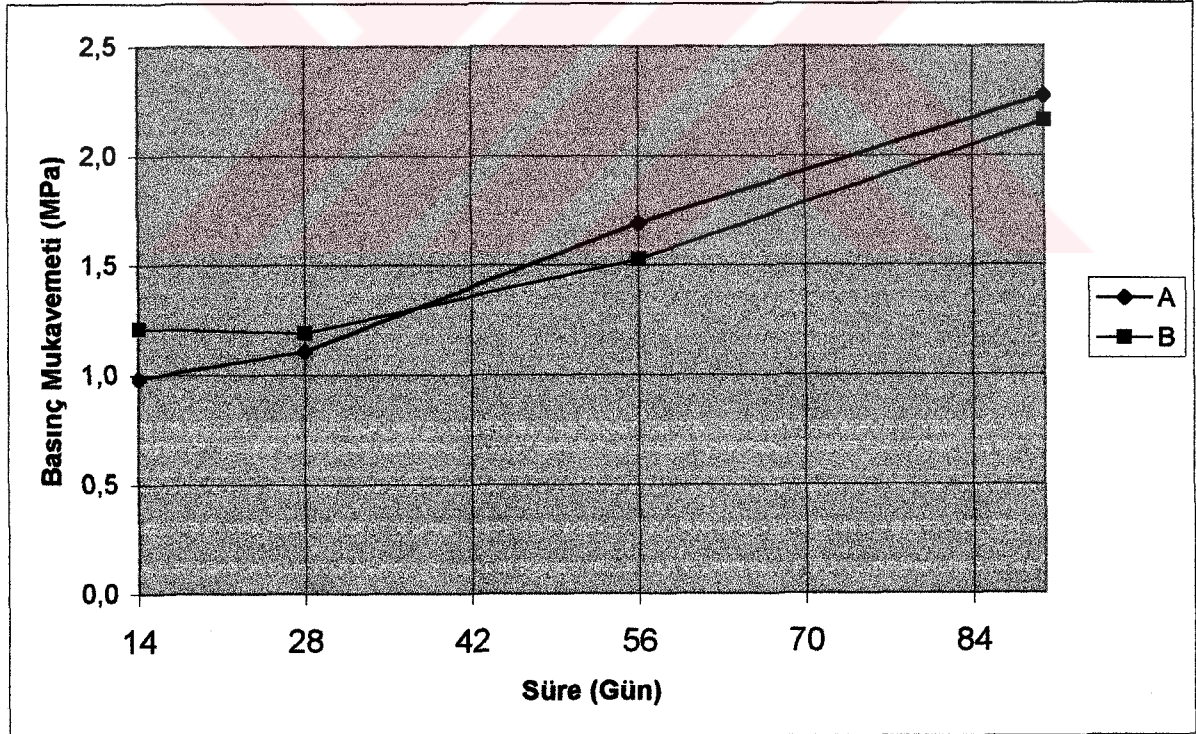


### 5.4.5 Basınç deneyi

Eğilme deneyinde 2'ye kırılan numunelerin 1 tanesi alınarak basınç deneyinde kullanılmıştır. Numunelerin basınç mukavemetleri Çizelge 5.16'da verilmiştir. Şekil 5.19, Şekil 5.20, Şekil 5.21 ve Şekil 5.22'de ise grupların zamana bağlı olarak karşılaştırmalı grafikleri verilmiştir.

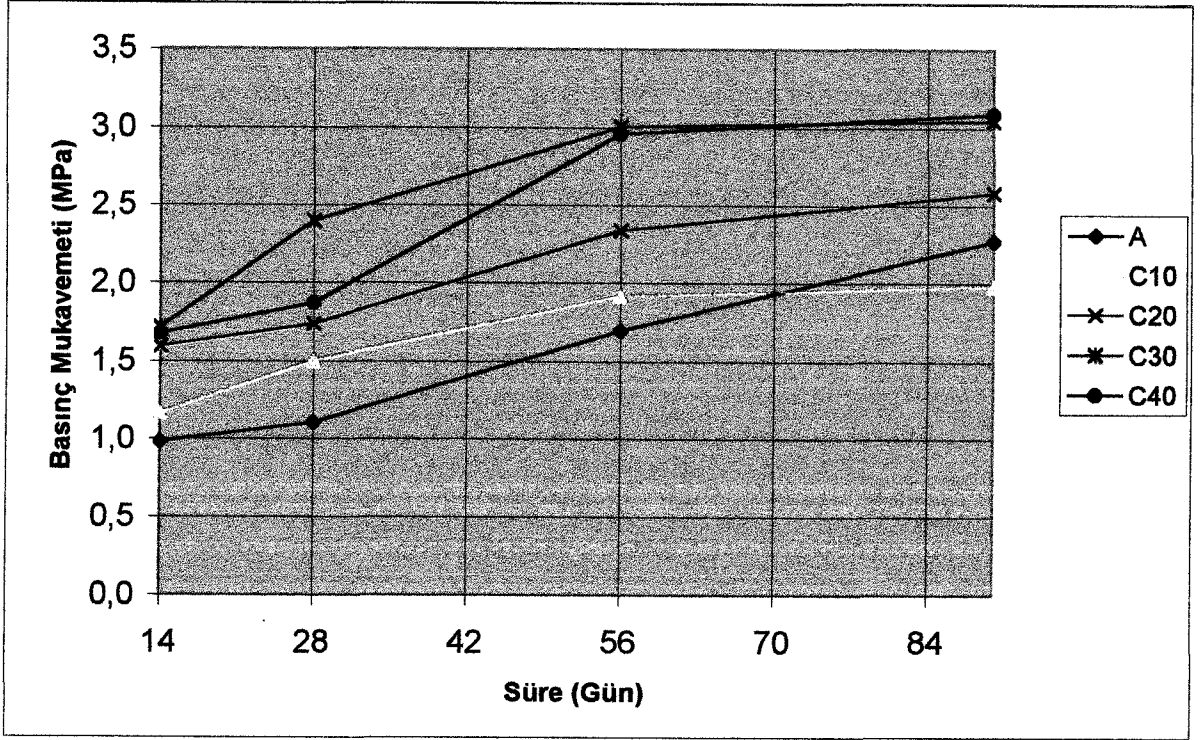
Çizelge 5.16 Ortalama basınç mukavemeti değerleri (MPa)

Numune kodu	A	B	C10	C20	C30	C40	D10	D20	D30	D40
Zaman										
14. gün	0,979	1,208	1,167	1,583	1,708	1,667	1,333	1,125	1,042	0,792
28 gün	1,104	1,188	1,500	1,729	2,396	1,865	1,708	1,250	1,021	0,813
56 .gün	1,688	1,521	1,917	2,333	3,000	2,958	1,292	1,625	1,042	1,250
90. gün	2,271	2,156	1,979	2,583	3,042	3,083	1,563	0,917	1,208	1,167

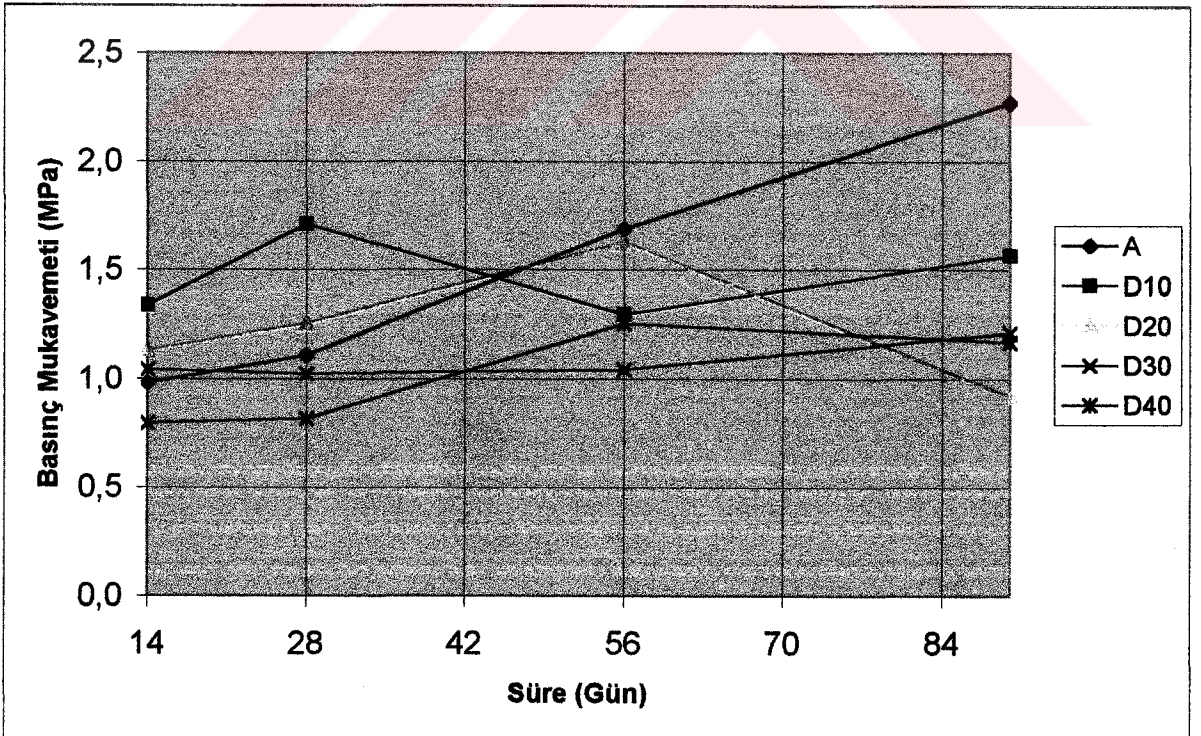


Şekil 5.19 A grubu (kireç+RILEM) ve B grubu (kireç+Pişmiş toprak kırıntısı) numunelerin basınç mukavemetleri grafiği



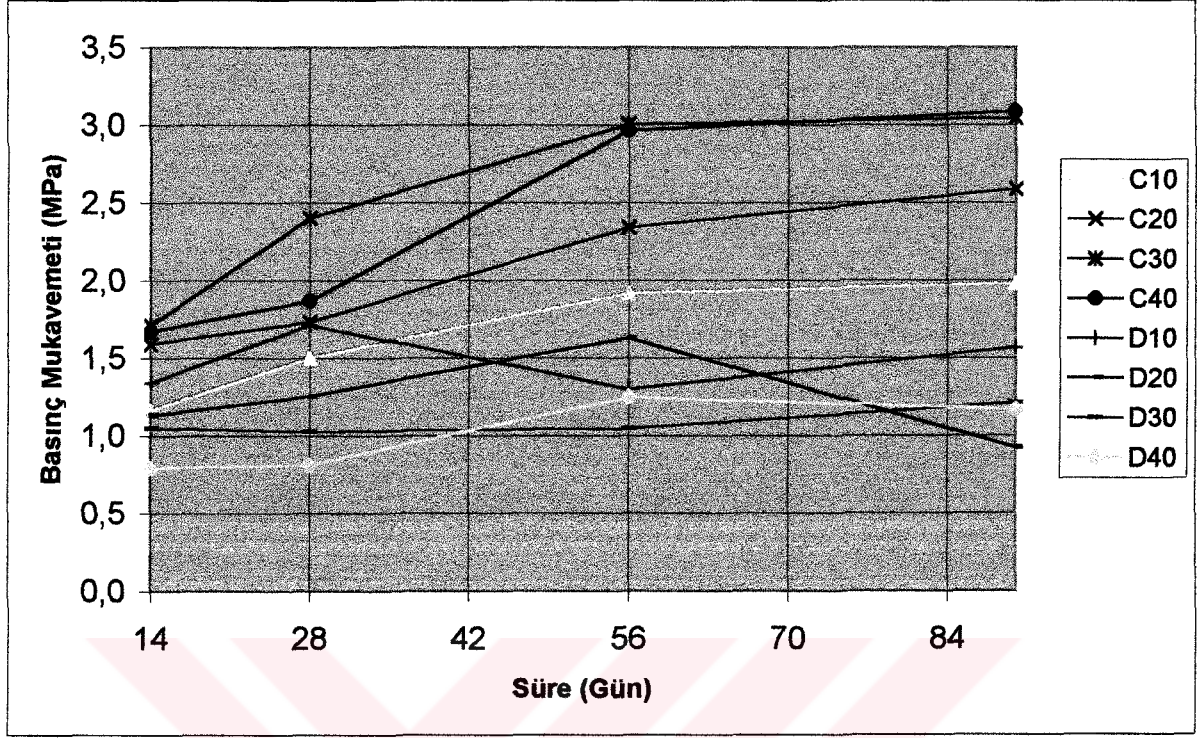


Şekil 5.20 A grubu (kireç+RILEM) ve C (kireç+RILEM+cüruf) gruplarının basınç mukavemetleri grafiği



Şekil 5.21 A grubu (kireç+RILEM) ve D (kireç+RILEM+pişmiş toprak tozu) gruplarının basınç mukavemetleri grafiği





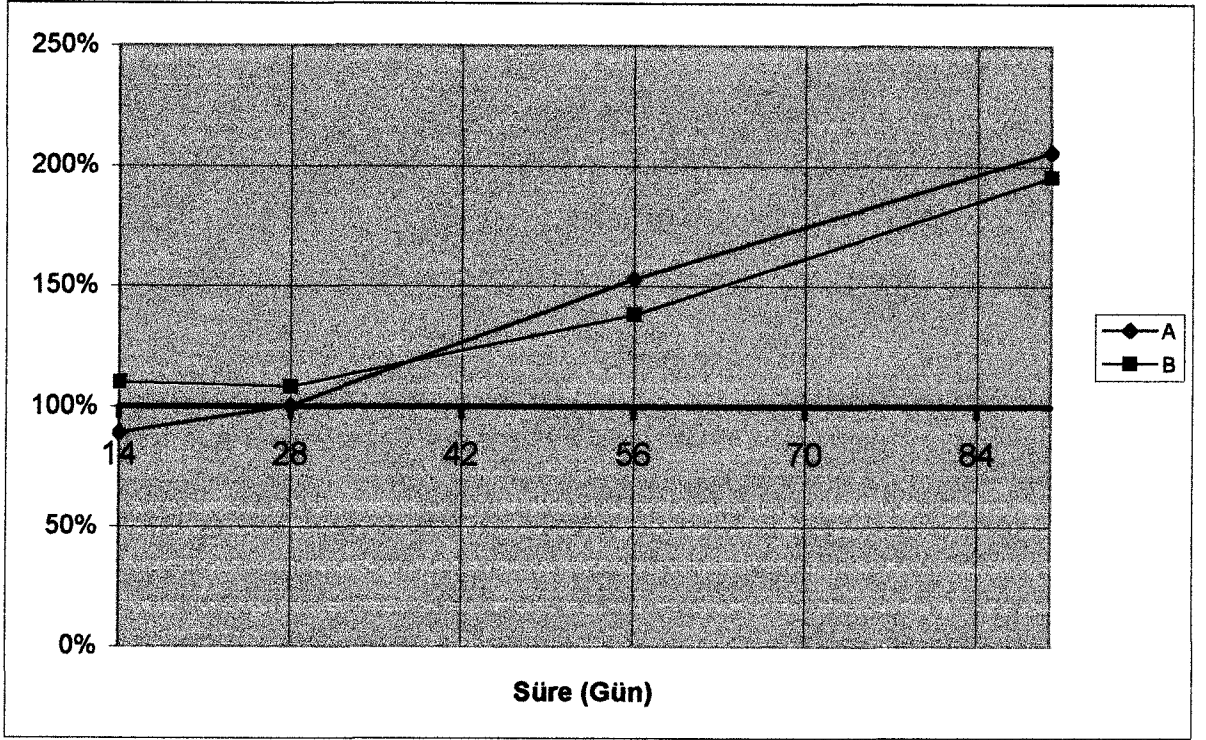
Şekil 5.22 C (kireç+RILEM+cüruf) grupları ve D (kireç+RILEM+pişmiş toprak tozu) gruplarının basınç mukavemetleri grafiği

Bütün grupların 28. günde basınç deneyi uygulanan şahit numuneye (A serisi = kireç+RILEM kumu+su) göre bağıl basınç mukavemetleri oranları Çizelge 5.17'de, karşılaştırmalı grafikleri ise Şekil 5.23, Şekil 5.24, Şekil 5.25 ve Şekil 5.26'da verilmiştir.

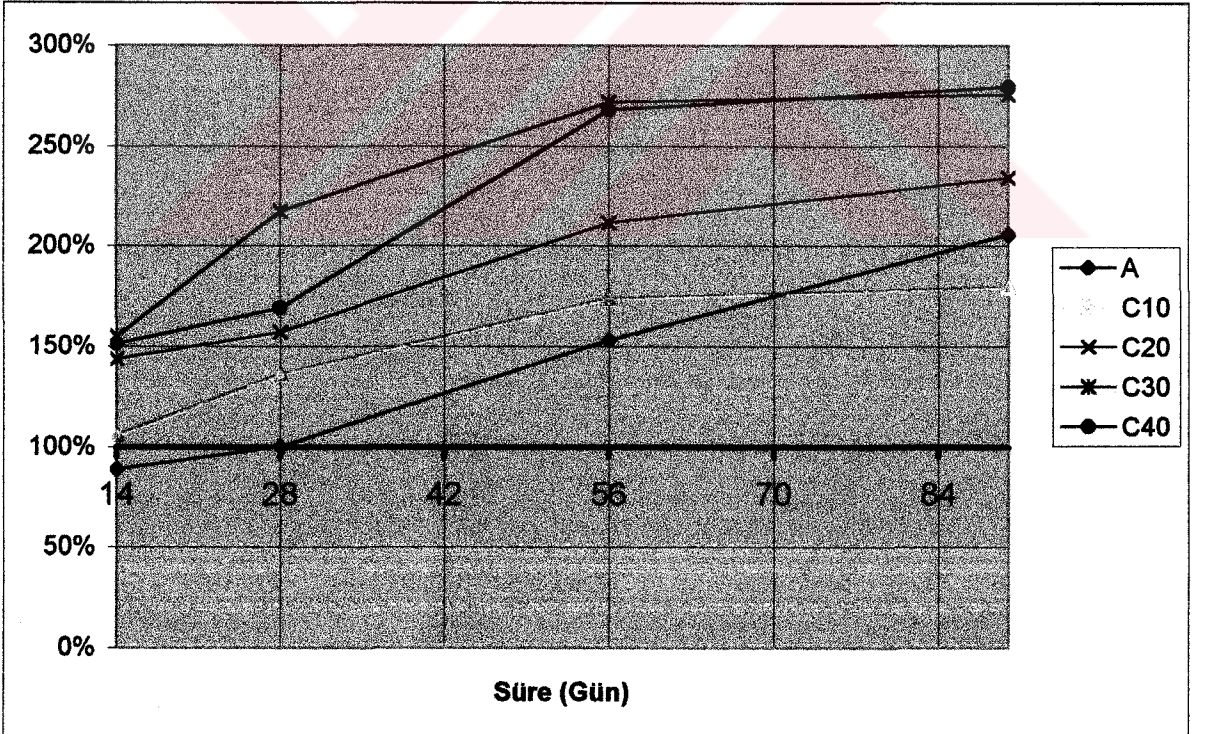
Çizelge 5.17 Tüm numunelerin basınç mukavemetlerinin şahit numunenin 28. gündeki basınç mukavemetlerine oranları

basınç / A28	A	B	C10	C20	C30	C40	D10	D20	D30	D40
14. gün	%89	%109	%106	%143	%155	%151	%121	%102	%94	%72
28. gün	%100	%108	%136	%157	%217	%169	%155	%113	%92	%74
56. gün	%153	%138	%174%	%211	%272	%268	%117	%147	%94	%113
90. gün	%206	%195	%179	%234	%275	%279	%142	%83	%109	%106



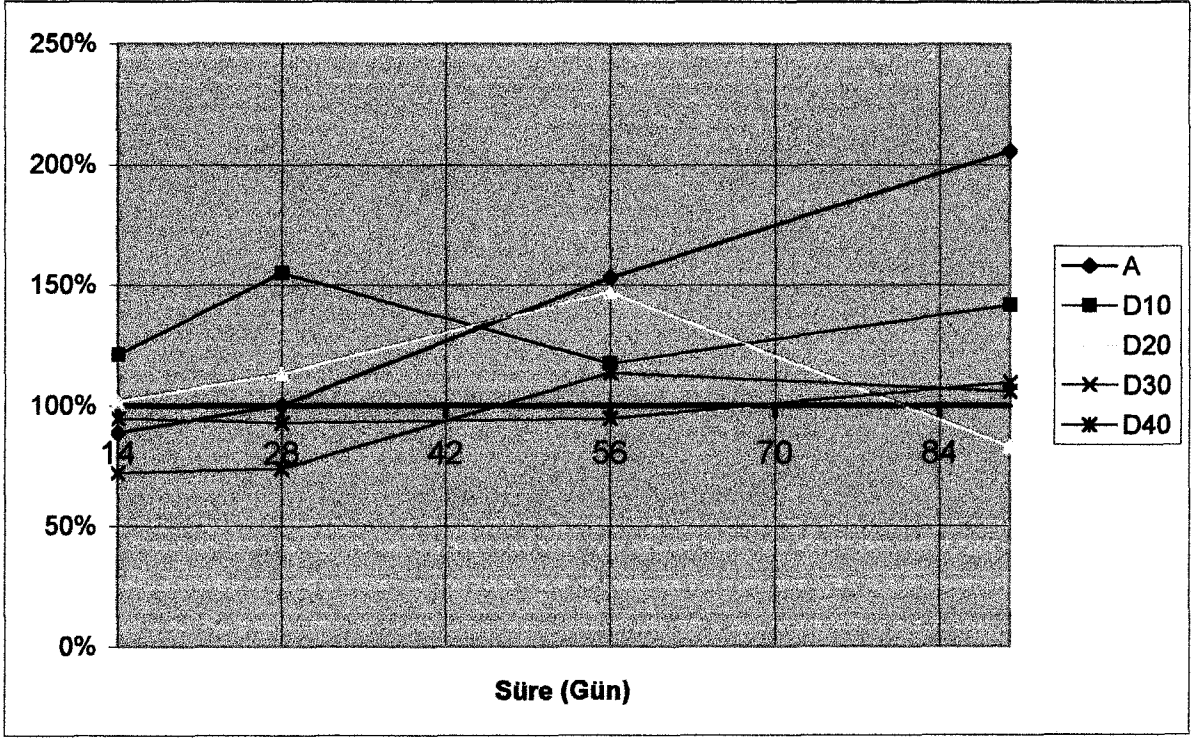


Şekil 5.23 B grubunun 28. gündeki şahit numuneye göre basınç mukavemeti

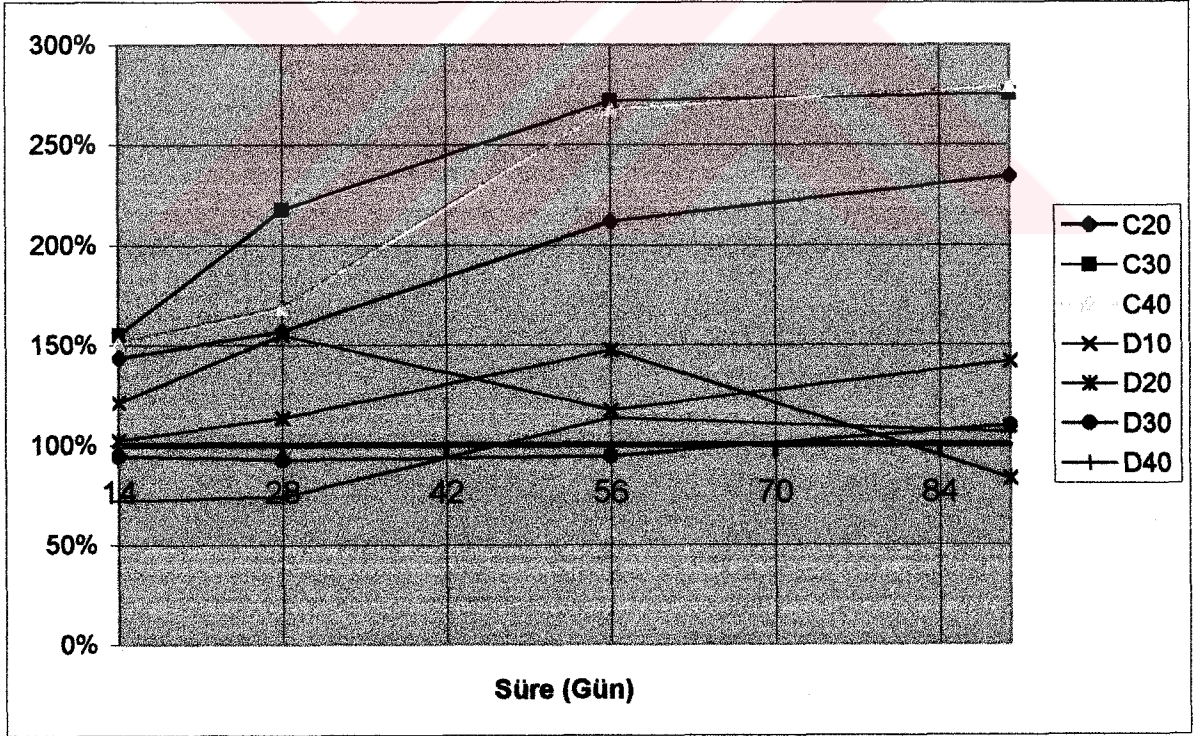


Şekil 5.24 C gruplarının 28. gündeki şahit numuneye göre basınç mukavemeti





Şekil 5.25 C gruplarının 28. gündeki şahit numuneye göre basınç mukavemeti



Şekil 5.26 C ve D gruplarının 28. gündeki şahit numuneye göre basınç mukavemeti

## 5.5 Deney sonuçlarının irdelenmesi

Kireç harcında agrega olarak RILEM kumu veya pişmiş toprak kırıntısının kullanıldığı, cüruf ve pişmiş toprak tozunun puzolan olarak harca etkilerinin araştırıldığı deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- 1) Numuneler ultrases geçiş hızları bakımından karşılaştırılınca;
  - Kireç ve RILEM kumuyla üretilen şahit grupla (A), agrega olarak pişmiş toprak kırıntısının kullanıldığı gruba (B) bakılınca, şahit gruptaki ses geçiş hızının yaklaşık %15 yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 5.3).
  - Cürufli numunelerde zamana ve cüruf oranına bağlı olarak ses geçiş hızlarında yükselme görülmüştür. Tüm cüruf katkılı numune gruplarının ses geçiş hızları şahit gruba göre yüksektir (Şekil 5.4).
  - Pişmiş toprak tozu katkılı tüm grupların ses geçiş hızları şahit gruptan düşüktür. Numunelere katılan pişmiş toprak tozu oranları arttıkça ses geçiş hızları düşmektedir (Şekil 5.5).
  - Cüruf katkılı grupların ses geçiş hızları pişmiş toprak tozu katkılı gruplardan yüksektir. Cüruf oranı arttıkça ses geçiş hızları da artmaktadır (Şekil 5.6).
- 2) Numuneler birim ağırlıkları bakımından karşılaştırıldığında agrega olarak kum kullanılan tüm grupların taze ve sertleşmiş harçta birim ağırlıkları birbirine yakın, hatta eşittir. Agrega olarak pişmiş toprak kırıntısının kullanıldığı grupların birim ağırlığı diğerlerinden ortalama %20 düşük çıkmıştır (Çizelge 5.16).
- 3) Dinamik elastisite modülleri bakımından:
  - Dolgu malzemesi pişmiş toprak kırıntısı olan grubun (B) dinamik elastisite modülü şahit gruptan (A) yaklaşık % 40 daha düşüktür (Şekil 5.7).
  - Cüruf katkılı grupların (C) dinamik elastisite modülleri şahit gruptan (A) yüksektir ve cüruf oranı yükseldikçe dayanım artmaktadır (Şekil 5.8)
  - Pişmiş toprak tozu katkılı grupların (D) dinamik elastisite modülleri şahit gruptan (A) ve cüruf katkılılardan (C) düşüktür. Pişmiş toprak tozu oranı yükseldikçe dinamik elastisite modülü değeri de düşmektedir (Şekil 5.9).



4) Eğilme dayanımları karşılaştırıldığında;

- En yüksek eğilme mukavemeti pişmiş toprak kırıntısının agrega olarak kullanıldığı grupta (B) elde edilmiştir (Şekil 5.11)
- Pişmiş toprak tozunun kirece ikameli katıldığı gruplarda (D) eğilme dayanımı şahit gruba (A) göre düşüktür (Şekil 5.13).
- Şahit kireç harcının eğilme dayanımı zamana bağlı olarak düzenli bir artış göstermiştir (Şekil 5.11).
- Cüruf katkılıların eğilme dayanımı ilk başta yüksektir. Fakat zamana bağlı olarak düşmeler ve istikrarsızlıklar gözlenmiştir (Şekil 5.12).

5) Standart kireç harcının (kireç + RILEM kumu + su) şahit olduğu, RILEM veya pişmiş toprak kırıntısının agrega olarak kullanıldığı, cüruf veya pişmiş toprak tozunun puzolan olarak, kirece ikameli katıldığı gruplar basınç dayanımı bakımından karşılaştırılınca;

- Basınç dayanımı, tüm gruplarda pişmiş toprak katkılı numunelerde (D) gözlenen istikrarsızlık dışında ilk günlerde daha hızlı olmak üzere zamanla artış göstermiştir (Şekil 5.19, Şekil 5.20, Şekil 5.21).
- Cüruf katkılı grupların (C) basınç dayanımı şahit gruptan (A) yüksektir ve cüruf oranı yükseldikçe dayanım artmaktadır.
- Pişmiş toprak tozu katkılı grupların (D) dayanımı şahit (A) gruptan ve cüruf katkılılardan (C) düşüktür, ve pişmiş toprak tozu oranı yükseldikçe dayanım düşmektedir.
- Sadece RILEM kumu ve kireç kullanılan şahit gruba (A), pişmiş toprak kırıntısı kullanılan grubun basınç dayanımı karşılaştırıldığında yakın değerlere sahip oldukları gözlenmiştir (Şekil 5.19).
- Puzolan olarak pişmiş toprak tozunun kullanıldığı grupların (D) dayanımlarının düşük olduğu ve zamana bağlı olarak dayanımlarda istikrarlı bir artış olmadığı gözlenmiştir. Bunun, pişmiş toprak tozu elde etmek için temin edilen tuğlalardaki puzolanik maddelerin az olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Pişmiş toprak tozunun puzolanik etkilerini incelemek için puzolanik madde miktarları daha fazla olan farklı fabrikaların mamülleri veya kiremit öğütülerek yeni deneyler yapılması uygun olacaktır (Şekil 5.21).

6) Daha önce yapılmış olan çalışmalarla, deneysel çalışmanın karşılaştırılması:

- Penelis ve Karaveziroglou'nun yaptığı çalışmalarla eğilme ve basınç mukavemeti açısından yaklaşık sonuçlar elde edilmiştir.
- Elde edilen Dinamik elastisite modülleri ise Aköz'ün çalışmasında elde ettiği değerlere yakın değerler elde edilmiştir.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

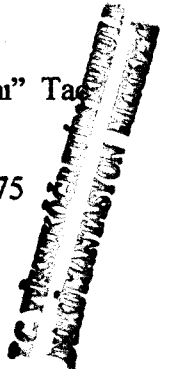
Bu çalışma kapsamında yapılan araştırma ve deneylerden elde edilen sonuçlara göre:

- 1) Tarihi bir yapının onarımında kullanılmak üzere bir harç üretimi söz konusu olunca tek bir karışım oranının önerilmesi mümkün değildir. Yerinde ve laboratuvarında yapılacak inceleme ve deneylerle mevcut yapıdaki harcın özelliklerini belirlemek gerekir.
- 2) Yapıdaki harcın özellikleri belirlendikten sonra mekanik özelliklerine ve özellikle renk gibi fiziksel özelliklerine göre, harç üretiminde kirece deneyler ile belirlenecek oranlarda pişmiş toprak kırıntısı, pişmiş toprak tozu veya cüruf katılarak istenilen özelliklere en yakın özellikte harç üretilmelidir.
- 3) Seçilen harcın zaman içindeki dayanım ve dayanıklılığı deneysel olarak araştırılmalıdır.



## KAYNAKLAR

- Akıncı, Ş., (1998) "İstanbul'un Fethinden Lale Devrine Kadar Osmanlı Kagir Mimarisinde Yapım Teknikleri" (İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Doktora Tezi), İstanbul 1998
- Akman, S., (1986) "Horasan Harcı ve Betonunun Tarihi ve Teknik Özellikleri" II.Uluslararası Türk İslam Bilim ve Teknoloji Tarihi Kongresi, İstanbul 1986
- Akman, S., (1990) "Yapı Malzemeleri", İstanbul 1990
- Aköz, F., (1996) "Investigation of Material Properties of Küçük Ayasofya Mosque Sts. Sergius and Bacchus by Using Non-destructive Test Methods", EC Workshop on Non-destructive Testing to Evaluate Damage due to Environmental Effects on Historic Monuments, Trieste 1996
- Aktuğ-Kolay, İ., (1999) "Batı Anadolu 14. Yüzyıl Beylikler MimarisindeYapım Teknikleri", Ankara 1999
- Altınsoy, G., (1999) "Edirne Camilerinde XVIII. Yüzyıl Onarımları" (İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Doktora Tezi), İstanbul 1999
- Barkan, Ö., (1975) "Süleymaniye Camii ve İmaretİ İnşası (1550-1557)", C.I-II, Ankara 1975
- Baronio, G., Binda, L., Tedesci, C. (1997)"Thick Mortar Joints in Bysantine Buildings: Study of Their Composition and mechanical Behavioir", Studies in Ancient Structures, İstanbul 1997
- Bayram, S., Tüzen, A., (1991) "İstanbul-Üsküdar Ayazma Camii ve Ayazma Camii İnşaat Defteri", Vakıflar Dergisi XXII, Ankara 1991
- Can, S., (1999) "Belgelerle Çırağan Sarayı", Ankara 1999
- Çakır, Ö., (2000) "Yüksek Fırın Cürufunun Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi" (Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), İstanbul 2000
- Çakmak, A.S., Erdik, M., Moropoulou, A., (1997) "A Joint Program for the Protection of the Justinian Hagia Sophia" 4th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean, Cilt.4, Rodos 1997
- Erdoğan, M., (1968) "Osmanlı Devrinde Anadolu Camilerinde Restorasyon Faaliyetleri", Vakıflar Dergisi VII, İstanbul 1968
- Eriç, M., (1986) "Eski Eserlerde Malzeme Sorunları", TAÇ, Cilt1, Sayı 4 İstanbul 1986
- Eriç, M., Ersoy, H.Y., (1987) "Taş Yapılarda Yenileme Çalışmalarında Beton Malzemenin Özellikleri Açısından Kullanabilirliğinin Araştırılması" TAÇ , Cilt 2, Sayı 5 İstanbul 1987
- Eriç, M., (1994) "Yapı Fiziği ve Malzemesi", İstanbul 1994
- Ersen, A., (1991) "Geleneksel Harçlar Konusunda Bir Araştırma-Tahtakale Hamamı" Taç Vakfı Yıllığı I, İstanbul 1991
- Jouenne C.A., (1975) "Traite de Ceramiques et Materiaux Mineraux" Septima, Paris 1975
- Hasol, D., (1988) "Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü", İstanbul 1988



- Karaveziroğlu, M., Konstantinos, A., Dimitrios, A., Efhinia, K., (1997) "Intervention Study of an Old Stone Bridge in Greece" 4th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean, Cilt.2, Rodos 1997
- Karaveziroğlu, M., Papayianni, I., (1995) "Long Term Strenght of Mortars and Grouds Used in Interventions" IABSE Symposium, Rome 1995
- Kokkinos, Ch., Moropoulou, A., Nicolacopoulos, P., (1997) "A Conseptual Approach to the Conservation of the Cultural Heritage" 4th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean, Cilt.2, Rodos 1997
- Konow, T. Von, (1997) "Reliable Restorasyon Mortars-Requirements and Composition" 4th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean, Cilt.3 Rodos 1997
- Kütükoğlu, M., (1983) "Osmanlılarda Narh Müessesesi ve 1640 Tarihli Narh Defteri", İstanbul 1983
- Livingston, R., Wolde-Tinsae, A., Chaturbahai, A., (1991) "The Use of Gypsum Mortar in Historic Buildings" Structural Repair and Maintenance of Historical Buildings II, General Studies, Metarials and Analysis, Cilt.1, Boston 1991
- Mack, R.C., Speweik, J. P., (2000) "Repointing Mortar Joints in Historic Masonry Buildings", Minnesota 2000
- Madran, E., (1986) "Osmanlı Devletinde Eski Eser ve Onarım Üzerine Gözlemler" Belleten, Cilt XLIX, Ankara 1986
- Moropoulou, A., Tsiourva, Th., Michailidis, P. (1997) "Evaluation of Consolidation Treatments of Porous Stones – Application on the Madieval City of Rhodes", 4th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean, Cilt.3, Rodos 1997
- M.T.A. (1999), T.C. Maden Tetkik ve Arama Gen. Müd. Maden Analizleri ve Teknolojisi D. B., Rapor no:2010, Proje no:99/20 , Ankara 10.8.1999
- Papayianni, I., (1997) "A Holistic Way of Studing Mortars and Bricks of Ancient Masonries fro Manufacturing Compatible Repair Materials" 4th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean, Cilt.3 Rodos 1997
- Penelis, G.Gr., (1995) "Ancient and Traditional Mortar Technologie and their Importance in Conservation Projects", Mortars and Grouds in Restoration of Roman and Byzantine Monuments, Selanik 1995
- Özdemir, R., (1987) "Osmanlı Döneminde Dini ve Sosyal Yapıların İnşası ve Tamirati Üzerine Bazı Bilgiler", TAÇ,Cilt 2, Sayı 6 İstanbul 1987
- Postacıoğlu, B., (1986) "Beton, Bağlayıcı Maddeler, Agregalar", Cilt.1 İstanbul 1986
- Sabbioni, C., Zappia, G., Ghedini, N., Riontino, C., (1997) "Sulphur and Carbon Compounds on Damaged Mortars in Ancient Masonry" 4th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean, Cilt.1, Rodos 1997
- Satongar, Ş., (1994) "İstanbul Şehir Surları Horasan Harçları Üzerine Bir Araştırma" (İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), İstanbul 1994

- Silman, R., Ennis, M., (1993) "Non-destructive Evaluation to Document Historic Structures", IABSE Symposium, Roma 1993
- Sönmez, N., (1996) "Osmanlı Mimarlığında Yapı ve Malzeme Terminolojisi Üzerine Bir Deneme", İstanbul 1996
- Sönmez, N., (1997) "Osmanlı Dönemi Yapı ve Malzeme Terimleri Sözlüğü", İstanbul 1997
- Uz, B., (1991) "Kristalografi ve Mineroloji" İ.T.Ü. ,İstanbul 1991
- Toumbakari, E.E., Van Gemert, D., (1997) "Lime Puzzolana-Cement Injection Ground for the Repair and Sthrengthening of Tree-Leaf Masonry Structures" 4th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean, Cilt.3, Rodos 1997
- Tunay, M. İ. (1987) "İstanbul'un Bizans Devri Kara Surlarında Osmanlı Onarımı" TAÇ, Cilt2, Sayı 7 İstanbul 1987
- TS 2848 (1977) "Kargir Duvar Harçları" Türk Standartları Enstitüsü, Ankara 1977
- Usta, Ş., (1997) "Fatih Camii'nin Yeniden İnşası" (Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi) İstanbul 1997
- Vitruvius (1990) (çev. Suna Güven), "Mimarlık Üzerine On Kitap", İstanbul 1990



**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi 17.5.1974

Doğum yeri Sivas

Lise 1985-1992 Sivas Selçuk Anadolu Lisesi

Lisans 1993-1999 Yıldız Üniversitesi İnşaat Fak.  
İnşaat Mühendisliği Bölümü

**Çalıştığı kurumlar**

1998-1999 Logo Yazılım

1999-Devam ediyor YTÜ Mimarlık Fak. Araştırma Görevlisi

